



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI - ME 141501

STUDI AWAL SISTEM MANAJEMEN BATERAI (BMS) KAPAL SELAM MINI

Irwan Nanda Putra

NRP 04211440000104

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M. Eng.

Dr. Samudro, M. Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI AWAL SISTEM MANAJEMEN BATERAI (BMS) KAPAL SELAM MINI

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Oleh:

Irwan Nanda Putra
NRP. 04211440000104

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan

1. Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng

2. Dr. Samudro, M.Eng



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

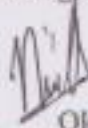
HALAMAN PENGESAHAN

STUDI AWAL SISTEM MANAJEMEN BATERAI (BMS) KAPAL SELAM MINI

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Oleh:

Irwan Nanda Putra
NRP. 04211440000104

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M., M.T.
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI AWAL SISTEM MANAJEMEN BATERAI (BMS) KAPAL SELAM MINI

Nama Mahasiswa : Irwan Nanda Putra
NRP : 04211440000104
Departemen : Marine Engineering
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M. Eng
Dr. Samudro, M. Eng

ABSTRAK

Kapal selam merupakan kapal yang bergerak di bawah permukaan air, pada umumnya digunakan sebagai kepentingan militer. Tidak hanya untuk kepentingan militer, kapal selam juga dapat digunakan untuk ilmu pengetahuan laut yang kedalamannya tidak dapat dijangkau untuk penyelam pada manusia. Disaat kapal selam berada di bawah permukaan air, maka baterai akan menjadi sumber utama daya untuk kapal selam, baik untuk propulsi maupun *hotel load*. Dalam riset ini akan dilakukan pengoptimalan, manajemen pada baterai disaat kapal selam beroperasi. Selanjutnya akan didesain juga *general arrangement* daripada kapal selam mini dan selanjutnya mendesain sistem kelistrikan pada kapal selam mini.

Manajemen baterai dilakukan agar baterai dapat lebih tahan lama dan tidak bermasalah pada saat operasi karena baterai merupakan kebutuhan vital. Pemantauan Baterai berisikan tentang Pengukuran parameter baterai yang berbeda seperti arus charge dan discharge, tegangan sel, resistansi dan suhu memungkinkan prediksi kapasitas baterai yang tersisa. Parameter baterai penting seperti state-of-charge (SOC), state-of-health (SOH) atau state-of-function (SOF).

Dari hasil riset ini, diketahui bahwa terdapat empat kondisi beroperasinya kapal selam mini yaitu kondisi saat *snort*, jelajah, *silent run* dan *escape*. Pada setiap kondisi tersebut masing –masing diperoleh daya total yang diperlukan yaitu 107.026 kW, 112.496 kW, 109.108 kW dan 506.176 kW.

Kata kunci: baterai, kapal selam, listrik, sistem manajemen

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Battery Management System (BMS) of Mini Submarine

Name : Irwan Nanda Putra
NRP : 04211440000104
Department : Marine Engineering
Advisors : Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M. Eng
Dr. Samudro, M. Eng

ABSTRACT

Submarines are ships that move beneath the surface of the water, commonly used as military interests. In addition to military interests, submarines are also commonly used for marine science whose depth is not suitable for human divers. While the submarine is underwater, the battery will be the main source of power for submarines, both for propulsion and hotel load. In this research will be done optimizer, management of the battery when the submarine operates. Next will be designed also general arrangement than mini submarine and subsequently designing electrical system on mini submarine.

Battery management is done so that the battery can last longer and no problem during operation because battery is a vital requirement. Battery Monitoring consists of measuring different battery parameters such as charge and discharge currents, cell voltage, resistance and temperature allowing predictions of remaining battery capacity. Important battery parameters such as state-of-charge (SOC), state-of-health (SOH) or state-of-function (SOF).

From the results of this research, it is known that there are four conditions of operation mini submarine that is the condition when snort, cruising, silent run and escape. In each condition, the total power required is 107,026 kW, 112,496 kW, 109,108 kW and 506,176 kW.

Keywords: Battery, Submarine, Electrical, Management System

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “STUDI AWAL SISTEM MANAJEMEN BATERAI (BMS) KAPAL SELAM MINI” dengan baik untuk memenuhi syarat mata kuliah Skripsi (ME141501), Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama Proses pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan beserta masukan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberi dukungan beserta doa kepada saya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan
2. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, S.T., M.T. dan Bapak Prof. Semin Sanuri, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua departemen dan sekretaris departemen teknik system perkapalan, FTK-ITS.
3. Bapak Dr.Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc. selaku dosen wali saya yang selalu memberikan bimbingan dan arahan tentang perkuliahan saya
4. Bapak Dr. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng dan Bapak Dr. Samudro, M.Eng selaku dosen pembimbing Tugas Akhir ini yang telah banyak memberikan masukan dan pikiran sehingga tugas akhir saya dapat terselesaikan dengan baik.
5. Segenap civitas akademika yang telah memberikan bimbingan dan pengajaran selama perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.
6. Keluarga MERCUSUAR'14 sebagai rekan, teman, dan keluarga selama mengikuti perkuliahan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang selalu memberikan dukungan hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
7. Segenap dosen, teknisi, grader, dan member Laboratorium *Marine Electrical and Automation System* (MEAS) yang selalu memberikan dukungan dan bantuan untuk bertukar pikiran selama proses penyusunan tugas akhir.
8. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir penulis secara langsung maupun tidak langsung;

Laporan ini disusun dengan kemampuan dan refrensi bahan yang terbatas, oleh karena itu penulis menyadari bahwa masih terdapat ketidaksempurnaan pada laporan ini, baik dari segi penulisan, pembahasan serta dalam penyusunan nya. Sehingga penulis mengharapkan saran yang bersifat membangun upaya perbaikan laporan ini dan juga sebagai bekal di masa yang akan datang. Demikian laporan ini disusun dan semoga laporan ini akan berguna bagi pembaca.

Surabaya, 16 Juli 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
2.1 Latar Belakang Masalah	1
2.2 Perumusan Masalah.....	2
2.3 Batasan Masalah	2
2.4 Tujuan Skripsi	2
2.5 Manfaat Skripsi	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Kapal Selam.....	3
2.2 Sistem Kelistrikan	8
2.3 Generator	9
2.4 Baterai.....	12
2.5 Pembebanan pada Kapal Selam mini	13
2.6 Tahanan Kapal	14
2.7 Baterai Lead Acid.....	14
2.8 Prinsip Kerja BMS	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir.....	28
3.2 Jadwal Kegiatan.....	29
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Data Kapal Selam Mini	31
4.2 General Arrangement Submarine	32
4.3 Analisa Beban Lampu Penerangan.....	33
4.4 Analisa Tahanan pada Kapal Selam Mini	39

4.5	Perhitungan Estimasi Panas yang terjadi dalam Kapal	41
4.6	Estimasi Daya Total berdasarkan Kondisi Kapal Selam	47
4.7	Sistem Manajemen Baterai (BMS).....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		56
LAMPIRAN		58
BIODATA PENULIS.....		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kapal Selam.....	4
Gambar 2. 2 <i>Axisymmetric Body</i>	6
Gambar 2. 3 <i>Submarine Geometry</i>	6
Gambar 2. 4 <i>Common Stern Configuration</i>	7
Gambar 2. 5 Casing	7
Gambar 2. 6 Sistem Kelistrikan.....	8
Gambar 2. 7 Generator	11
Gambar 2. 8 Baterai Kapal Selam	17
Gambar 2. 9 <i>Katoda dan Anoda pada Sel Baterai</i>	18
Gambar 2. 10 <i>Proses Elektrokimia pada Sel Baterai</i>	18
Gambar 2. 11 Ilustrasi BMS	21
Gambar 2. 12 <i>Ilustrasi SOC BMS</i>	25
Gambar 2. 13 <i>Sistem Pengaman Sel</i>	25
Gambar 4. 1 <i>Rencana Umum Kapal Selam Mini</i>	32
Gambar 4. 2 Lokasi lampu dan stop kontak	36
Gambar 4. 3 Lokasi lampu dan stop kontak	39
Gambar 4. 4 Kurva Charging Baterai pada Stage 1, 2 & 3	43
Gambar 4. 5 Estimasi Besar Heat Flux Density dalam kapal selam (kW / m ³)	46

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Utama Kapal	31
Tabel 4. 2 Intensitas iluminasi cahaya.....	33
Tabel 4. 3 <i>Klasifikasi Pemilihan Lampu</i>	34
Tabel 4. 4 Perhitungan penerangan	37
Tabel 4. 5 <i>Perhitungan Tahanan</i>	40
Tabel 4. 6 <i>Massa dan Spesific Heat Baterai</i>	42
Tabel 4. 7 Estimasi Power Kondisi Snort.....	47
Tabel 4. 8 Estimasi Power Kondisi Jelajah	47
Tabel 4. 9 Estimasi Power Kondisi <i>Silent Run</i>	48
Tabel 4. 10 Estimasi Power Kondisi <i>Escape</i>	48

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

2.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi kapal selam mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satunya dari segi teknologi yaitu agar kapal selam dapat beroperasi dengan waktu yang lama dan juga jarak yang jauh sehingga dapat menyelesaikan misi sesuai dengan apa yang sudah ditargetkan. Kapal selam diesel-elektrik ini menggunakan mesin diesel sebagai sumber tenaga utama untuk menghasilkan listrik yang selanjutnya disimpan ke dalam baterai. Pada saat kapal dalam kondisi menyelam, baterai menjadi sumber utama untuk memenuhi kebutuhan penggerak sistem propulsi, penerangan, pengoperasian peralatan serta kebutuhan hidup awak kapal.

Baterai yang biasa digunakan untuk kapal selam adalah jenis baterai asam timbal (lead acid), tetapi karena kemajuan teknologi pada saat ini, tersedia berbagai pilihan baterai yang bisa digunakan, terutama baterai lithium ion yang menjadi pesaing daripada baterai asam timbal. Pada umumnya peralatan pada kapal menggunakan arus searah (DC) dengan voltase yang besar (misalnya 440V pada 60Hz) untuk berbagai jenis *equipment* yang tersedia. Pada hal ini agar peralatan bisa langsung terhubung ke sumber daya (baterai/ motor) yang mana kalau kita menggunakan arus bolak balik (AC seperti listrik di rumah) akan banyak menggunakan konverter yang tentunya rumit, menambah bobot dan tentu nya ada biaya tambahan. Pada kapal selam, sistem persenjataan dan sensor-sensor yang terdapat pada kapal ini biasanya di desain menggunakan arus 400hz, untuk peralatan monitoring, indikator dan kendali menggunakan DC 24v (2x12V).

Pada kapal dan dikhususkan untuk kapal selam, sangat perlu diperhatikan manajemen baterai yang baik agar kapal selam dapat beroperasi dengan baik dikhususkan pada saat kapal selam berada pada kondisi menyelam. Terdapat beberapa kondisi pada kapal selam mini yaitu pada saat power maksimum, pada saat kondisi jelajah, kondisi snort, kondisi patroli dan kondisi penyerangan. Maka dari itu sangat diperlukan manajemen baterai yang sangat baik demi lancarnya pengoperasian kapal selam mini terutama saat kapal melakukan snort untuk charging baterai, kapasitas baterainya harus mampu / cukup sampai kapal selam mini tersebut pada kondisi snort.

BMS (sistem manajemen baterai) adalah suatu sistem pemantauan baterai, dengan tetap memeriksa parameter operasional utama selama pengisian dan pengosongan pada baterai seperti voltase, arus dan suhu internal baterai. Pada BMS terdapat rangkaian yang memonitor, biasanya memberi masukan pada perangkat perlindungan yang akan menghasilkan alarm, melepaskan baterai dari beban atau mengisi daya jika ada parameter yang sampai ke luar batas. Sistem seperti ini tidak hanya mencakup pemantauan dan perlindungan baterai, tetapi juga metode ini untuk

membuat baterai tersebut dapat memberikan kekuatan penuh saat diperlukan dan juga dapat membuat lifetime yang lama.

2.2 Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan awal dari sistem kelistrikan pada kapal selam mini?
2. Bagaimana sistem manajemen baterai (BMS) bekerja dengan baik pada kapal selam mini saat beroperasi?

2.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak menghitung dan menganalisa sistem ballast, sistem navigation, sistem peralatan perang pada kapal selam mini.

2.4 Tujuan Skripsi

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana rancang bangun kelistrikan pada kapal selam.
2. Melakukan pengaturan dalam penggunaan baterai disaat beroperasinya kapal selam

2.5 Manfaat Skripsi

Manfaat dari tugas akhir ini adalah diperolehnya manajemen baterai yang baik dan juga mengetahui bagaimana rancangan awal kelistrikan yang ada pada kapal selam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

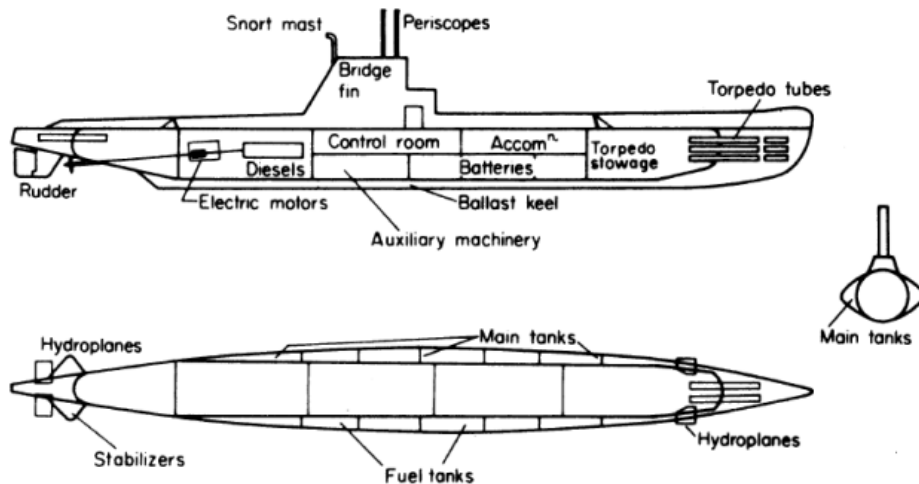
2.1 Kapal Selam

2.1.1 Pengertian Kapal Selam

Kapal selam merupakan kapal yang beroperasi di bawah permukaan air, pada umumnya kapal selam ini beroperasi sebagai kepentingan militer. Selain untuk kepentingan militer, kapal selam juga biasa digunakan untuk ilmu pengetahuan laut yang kedalamannya tidak sesuai untuk penyelam manusia. Meskipun kapal selam mengapung dengan mudah tetapi kapal itu juga dapat menyelam ke dasar laut dan dapat berada di kedalaman tertentu sampai berbulan – bulan lamanya, rahasianya adalah terdapat pada konstruksi kapal selam yang khas dengan dinding rangkapnya. Ruang – ruang khusus kedap air atau tangki pemberat antara dinding luar dan dinding dalam dapat diisi air laut sehingga meningkatkan bobot keseluruhan kapal dan mengurangi kemampuan mengapungnya. Dengan bantuan dorong dari baling – baling ke depan dan pengarah kemudi datar ke bawah, sehingga kapal itu menyelam.

Dinding dalam dari baja pada kapal selam dapat menahan *pressure* yang sangat besar di kedalaman. Saat kapal berada di dalam air, kapal mempertahankan sedemikian rupa posisinya dengan bantuan tangki – tangki pemberat sepanjang lunasnya dan untuk naik ke permukaan, kapal selam mengeluarkan air dari tangkit pemberat. Selagi mengapung di permukaan, sebuah kapal selam dikatakan berdaya apung positif, tangka – tangki pemberatnya hampir tak berisi air. Disaat kapal menyelam, kapal dikatakan daya apung negatif karena udara di tangki pemberat dikeluarkan. Pada kondisi ini, udara bertekanan dipompa masuk ke tangki pemberat secukupnya. Untuk naik ke permukaan, udara bertekanan yang dibawa di kapal dipompakan masuk tangki pemberat, sehingga airnya keluar.

Periskop, radar, sonar, dan jaringan satelit merupakan alat navigasi utama kapal selam. Ketika kapal selam berada di dekat permukaan, kapal selam dapat mengambil udara dan melepaskan gas buang melalui snorkel yang membuka di atas muka air. Udara pada kapal selam dipantau setiap hari nya untuk menjamin agar kadar oksigennya mencukupi sesuai kebutuhan. Udara juga disalurkan lewat saringan yang menyingkirkan segala kotoran.



Gambar 2. 1 Kapal Selam

(Sumber: indomiliter.com)

Perbedaan gambaran umum dari kapal selam jika dibandingkan dengan kapal permukaan adalah sebagai berikut:

1. Bentuk, bentuk kapal selam dikondisikan sedemikian rupa sehingga memiliki propulsi yang efisien pada saat kondisi menyelam.
2. Sebagian besar porsi badan utama kapal pada pressure hull (badan tekan) biasanya berbentuk lingkaran pada penampang melintang sehingga dapat menahan tekanan hidrostatik yang tinggi. Bentuk potongan lingkaran ini dapat diartikan dengan sarat air yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapal permukaan dengan displasmen yang sama.
3. Hydroplanes, untuk mengatur kedalaman dan sudut kemiringan kapal; biasanya terdapat 2 pasang, satu dibagian belakang dan satu lagi pada bagian depan atau pada sirip anjungan.
4. Tangki, biasanya terdapat pada bagian luar badan tekan, dimana dapat terisi oleh air untuk membuat kapal tersebut dapat menyelam

5. Sistem propulsi ganda. Pada kondisi menyelam sistem yang biasa digunakan adalah dengan sistem elektrik yang tersedia dari baterai dan propulsi saat kondisi permukaan adalah menggunakan diesel. Baterai membutuhkan pengisian secara rutin, ini megartikan bahwa kapal selam beroperasi pada permukaan dan kedalaman periskop untuk beberapa waktu yang dibutuhkan. Kerugian ini dapat diatasi dengan kapal selam bertenaga nuklir atau dengan sitem propulsi udara secara mandiri pada kapal tersebut.
6. Periskop dan tiang sensor ini merupakan alat navigasi tambahan pada kapal selam sehingga memungkinkan kapal untuk beroperasi dekat dengan permukaan.
7. Sebuah pipa masuk udara khusus, snort mast, memungkinkan udara diambil ketika beroperasi pada kedalaman periskop.
8. Pada kebutuhan khusus untuk mengatur kondisi atmosfir di dalam kapal selam terpisah dengan kelengkapan pada kondisi normal, terdapat penyerap karbon dioksida dan generator oksigen. (Rawson, K.J. and Tupper, E.C., 2001)

Berdasarkan dari ukurannya kapal selam dapat dibagi atas tiga jenis utama yaitu:

1. Large Submarine

Kapal selam yang memiliki bobot lebih dari 2000 ton saat kondisi submerged. Beberapa contoh kapal selam tipe ini adalah Kilo-Class dan Thypoon-Class buatan Rusia. Beberapa jenis Large Submarine menggunakan tenaga penggerak berupa rektor nuklir.

2. Medium Submarine

Kapal selam dengan bobot saat menyelam berada pada kisaran nilai antara lebih dari 600 sampai dengan kurang dari 2000 ton. Salah satu contoh kapal selam medium ini adalah KRI Cakra 401 milik TNI-AL yang merupakan class U-209 buatan Jerman.

3. Midget Submarine

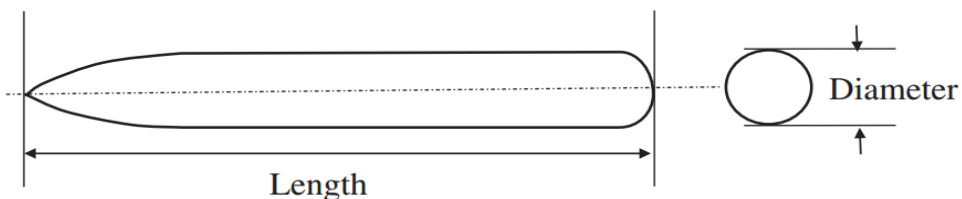
Secara umum kapal selam ini didefinisikan sebagai kapal selam dengan bobot dibawah 150 ton. Namun, beberapa jenis midget submarine juga memiliki bobot hingga lebih dari 300 ton.

Pada tugas akhir ini direncanakan akan mendesain kapal selam mini dengan spesifikasi utama sebagai berikut:

Length between perpendicular	(Lpp)	: 32	m
Diameter	(D)	: 3,5	m
Tinggi	(H)	: 4	m
Kedalaman Maksimum		: 200	m
Kedalaman Snorkling		: 10	m
Kecepatan Maksimum		: 15	knot
Silent Run		: 4	knot
Jumlah awak + Komando		: 8 + 4	orang
Senjata torpedo SUT		: 2	unit
Engine / motor		: 2	unit

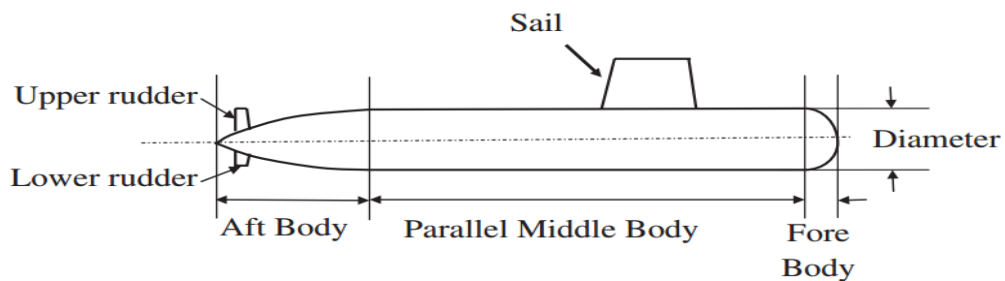
2.1.2 Geometry

Geometri kapal selam cukup mudah, tetapi ada beberapa istilah yang tidak biasa digunakan oleh desainer kapal pada umumnya. Pertama lambungnya biasanya didasarkan pada tubuh *axisymmetric*: satu yang simetris sempurna di sekitar sumbu longitudinalnya, seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.



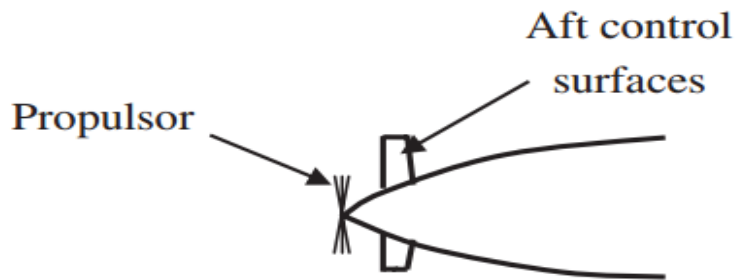
Gambar 2. 2 Axisymmetric Body

(Sumber:



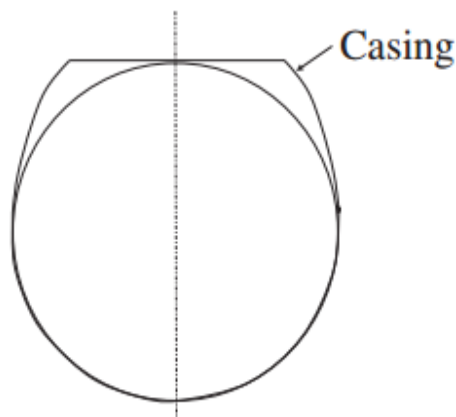
Gambar 2. 3 Submarine Geometry

(Sumber:



Gambar 2. 4 *Common Stern Configuration*

(Sumber:



Gambar 2. 5 Casing

(Sumber:

2.1.3 Prinsip Kapal Selam

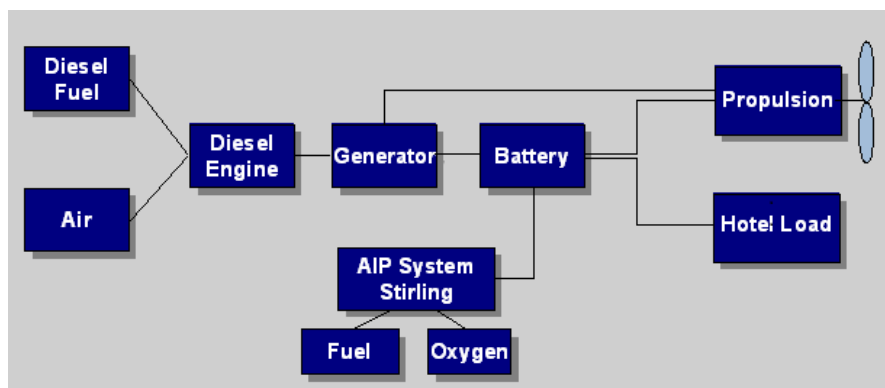
Sebuah kapal selam bisa mengapung karena berat air yang dipindahkan sama dengan berat kapal selam ini sendiri. Pemindahan air tersebut mengakibatkan sebuah gaya ke atas yang disebut dengan gaya apung. Pada cara kerja kapal selam dapat mengatur gaya apung dengan bantuan tangki – tangki pemberat dan tangki – tangki penyeimbang, sehingga pada kapal selam dapat muncul ataupun tenggelam sesuai dengan kebutuhan. Ketika kapal selam sedang berada di permukaan, tangki – tangki pemberat ini akan diisi oleh udara yang mengakibatkan massa jenis kapal selam lebih ringan daripada massa jenis air, sedangkan ketika

kapal selam akan menyelam, tangki pemberat tersebut akan diisi air dan udara akan terbuang sehingga massa jenis kapal selam lebih berat dari massa jenis air.

Kapal selam memiliki bagian – bagian yang dapat bergerak berbentuk sayap – sayap, bagian ini disebut hydroplane. Bagian ini terletak pada bagian posisi buritan kapal selam yang berfungsi untuk mengatur arah penyelamann dan pergerakan kapal selam. Hydroplane ini diarahkan sehingga air melewati bagian buritann untuk menjaga kapal selam agar tetap pada suatu kedalaman tertentu. Kapal selam dapat dikendalikan di dalam air dengan menggunakan kemudi untuk berbelok kiri atau ke kanan, sedangkan hydroplane untuk mengatur arah gerak ke depan atau ke belakang kapal selam.

2.2 Sistem Kelistrikan

Sistem Kelistrikan dan tenaga listrik mempunyai peran yang sangat penting untuk pengoperasian kapal terutama untuk kapal perang, baik kapal perang permukaan maupun kapal perang bawah air atau kapal selam. Dalam suatu pertempuran kapal angkatan laut modern dan efektivitas fungsional sangatlah tergantung dari tenaga listrik misalnya untuk peluncur rudal, mengoperasikan sistem kemudi, mengoperasikan sistem bantu, sistem navigasi, komunikasi dan sistem penerangan di kapal selam mini.



Gambar 2. 6 Sistem Kelistrikan

(Sumber: keretalistrik.com)

Dari Gambar 2.6 dimana Diesel Engine membutuhkan udara dan bahan bakar agar terjadinya suatu proses pembakaran, kemudian diesel engine dapat menggerakkan generator untuk menghasilkan tenaga listrik dan selanjutnya disalurkan atau digunakan untuk mengisi baterai dan bisa juga untuk menggerakkan propulsi. Baterai sebagian besar digunakan untuk sistem propulsi dan untuk beban

kelistrikan yang ada di kapal selam seperti penerangan, HVAC, navigasi dll. Adapun pembagian sistem yang biasanya suplai energinya dari baterai antara lain sebagai berikut:

1. Sistem penerangan (lighting load system)
 - Beban lampu setiap ruangan, gangway, dan tempat yang membutuhkan penerangan berupa lampu, beban lampu darurat, dll.
 - Beban stop kontak pada kapal (lemari es, televisi, ac, komputer, dll)
2. Sistem Navigasi, Komunikasi dan keselamatan (navigation, communication and safety load system)
 - Peralatan yang ada di navigation deck (gyro compass, Radar, echo sounder, GPS, Navtex, dll)
 - Peralatan komunikasi (INMARSAT-B, INMARSAT-C, intercom, public addressor, etc)
3. Sistem power (power load system)
 - Galley, pantry, laundry, etc

2.3 Generator

2.3.1 Pengertian Generator

Generator adalah suatu *equipment* yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator adalah Bilamana rotor diputar maka belitan kawat nya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub magnet, sehingga terjadi perbedaan tegangan, dengan dasar inilah timbullah arus listrik, arus melalui kabel / kawat yang ke dua ujungnya dihubungkan dengan cincin geser. Pada cincin-cincin tersebut menggeser sikat-sikat, sebagai terminal penghubung keluar.

Generator kapal merupakan *auxiliary engine* pada kapal yang berfungsi sebagai penyuplai untuk kebutuhan listrik pada kapal. Untuk penentuan kapasitas generator kapal yang akan kita gunakan dan untuk kebutuhan listrik kita di kapal, maka analisa beban ini dihitung untuk menentukan jumlah daya yang dibutuhkan dan variasi pemakaian pada kondisi operasional, sebagai contoh untuk manuver, berlayar, berlabuh atau bersandar serta beberapa kondisi lainnya. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui setiap daya minimum dan maksimum yang diperlukan. Dalam perencanaan sistem kelistrikan kapal perlu diperhatikan kapasitas dari generator dan peralatan listrik lainnya, besarnya kebutuhan maksimum dan minimum dari peralatannya. Kebutuhan maksimum

merupakan kebutuhan daya rerata terbesar yang terjadi pada jarak waktu yang singkat selama periode kerja dari setiap peralatan tersebut, dan sebaliknya. Kebutuhan rata - rata merupakan daya rata - rata pada periode kerja generator kapal yang dapat ditentukan dengan membagi energi yang dipakai dengan jumlah jam periode tersebut.

Untuk kebutuhan maksimum generator digunakan sebagai acuan dalam menentukan kapasitas generator kapal. Untuk kebutuhan daya minimum ini dijadikan sebagai acuan untuk menentukan konfigurasi dari rancangan listrik yang sesuai dan untuk menentukan skenario generator kapal dioperasikan.

Daya cadangan pada generator perlu dilakukan perhitungan untuk menyuplai kebutuhan daya listrik kapal pada puncak beban yang terjadi pada periode waktu yang cepat, misalnya bila digunakan untuk menyuplai motor – motor besar. Jika dilihat secara regulasi BKI menisyaratkan untuk daya keluar dari generator kapal sekurang-kurangnya diperlukan untuk pelayanan dilaut harus 15% lebih tinggi daripada kebutuhan daya listrik kapal yang ditetapkan dalam balans daya. Selain itu juga harus ditinjau nilai faktor beban untuk periode waktu kedepannya.

Untuk menentukan kapasitas generator di kapal dapat menggunakan suatu tabel balans daya, disana tertera peralatan listrik yang ada kapasitas dan dayaynya pada tabel. Sehingga didapatkan pada tabel balans daya tersebut dapat diketahui daya listrik yang diperlukan untuk masing – masing kondisi operasional kapal. Dalam penentuan electric balans BKI Vol. IV (Bab I, D.I) mengisyaratkan bahwa:

- Seluruh perlengkapan pemakaian daya yang secara tetap diperlukan untuk memelihara pelayanan normal harus diperhitungkan dengan daya kerja penuh.
- Beban terhubung dari seluruh perlengkapan cadangan harus dinyatakan. Dalam hal perlengkapan pemakaian daya nyata yang hanya bekerja bila suatu perlengkapan serupa rusak, kebutuhan dayanya tidak perlu dimasukkan dalam perhitungan.
- Daya masuk total harus ditentukan, dari seluruh pemakaian daya yang hanya untuk sementara dimasukkan, dikalikan dengan suatu faktor kesamaan waktu bersama (common simultancity factor) dan ditambahkan kepada daya masuk total dari seluruh perlengkapan pemakaian daya yang terhubung tetap. Daya masuk total sebagaimana telah ditentukan sesuai 1 dan 3
- Maupun daya yang diperlukan untuk instalasi pendingin yang mungkin ada, harus dipakai sebagai dasar dalam pemberian ukuran instalasi generator kapal.

2.3.2. Beban Kerja (Load Factor) generator pada kapal

Load faktor peralatan kapal didefinisikan sebagai perbandingan antara waktu pemakaian peralatan pada suatu kondisi dengan total waktu untuk suatu kondisi dan nilai load faktor dinyatakan dalam persentase. Untuk peralatan yang jarang dipergunakan diatas kapal dianggap mempunyai beban nol. Begitu juga untuk peralatan yang bisa dikatakan hampir tidak pernah dipergunakan nilai load faktornya juga dianggap nol seperti, fire pump, anchor windlass, capstan dan boat winches.

2.3.3 Perhitungan Kapasitas generator kapal

Dalam perhitungan kapasitas generator kapal selain load faktor dan faktor diversity ada beberapa hal yang harus diperhatikan,

a. Kondisi kapal.

Kondisi kapal umumnya terdiri dari sandar atau berlabuh, manuver, berlayar, bongkar muat dan Emergency. Berbagai kondisi ini sangat tergantung dari jenis kapal.

b. Data peralatan kapal.

Data ini dipergunakan untuk mengetahui jumlah daya atau beban yang diperlukan dan jumlah unit yang tersedia diatas kapal. Data peralatan ini berdasarkan perhitungan dan telah diverifikasi dengan data yang ada dipasaran.



Gambar 2. 7 Generator

(Sumber: yanmarmarine.com)

Pemilihan kebutuhan daya generator set ini diambil dari hasil perhitungan power efficiency. Hal ini dikarenakan kapal selam ini menggunakan main propulsion berupa electric motor. Perlu diketahui, motor elektrik hanya diperkenankan menggunakan generator dengan maksimal daya keluaran sebesar 40% lebih besar dari daya motor elektrik yang digunakan (Ibaddurahman, 2015). Namun pemilihan Generatort Set juga tidak boleh lebih kecil dari daya motor yang terpasang.

2.4 Baterai

2.4.1 Pengertian Baterai

Baterai (battery) adalah sebuah perangkat yang dapat merubah energy kimia menjadi energy listrik dan dapat digunakan untuk sebuah perangkat elektronik maupun sebuah motor dengan sumber arus searah. Baterai ini menyimpan sejumlah enegi dalam bentuk bahan kimia yang dapat bereaksi untuk melepas energy maupun menyimpan energy. Semakin banyak energy yang disimpan oleh suatu baterai, maka semakin banyak material atau bahan dari baterai tersebut yang dibutuhkan. Setiap baterai memiliki karakteristik dan perbedaan tertentu antara massa baterai, konstruksi dan energy yang dapat disimpan. Parameter tersebut dinamakan kepadatan energy atau energy density.

2.4.2 Metode Pengisian Baterai

Metode pengisian baterai terdiri dari 3 yaitu sebagai berikut:

- a. Pengisian perawatan (maintenance charging) digunakan untuk mengimbangi kehilangan isi (self discharge), pengisian ini dilakukan dengan arus rendah sebesar $1/1000$ dari kapasitas baterai. Ini biasa dilakukan pada baterai tak terpakai untuk melawan proses penyulfatan. Bila baterai memiliki kapasitas 45 Ah maka besarnya arus pengisian perawatan adalah 45 mA (miliAmpere).
- b. Pengisian lambat (slow charging) adalah suatu pengisian yang lebih normal. Arus pengisian harus sebesar $1/10$ dari kapasitas baterai. Bila baterai memiliki kapasitas 45 Ah maka besarnya arus pengisian lambat adalah 4,5 A. Waktu pengisian pada baterai bergantung pada kapasitasnya, keadaan baterai pada permulaan pengisian, dan besarnya arus pengisian. Pengisian harus sampai gasnya mulai menguap dan berat jenis elektrolit tidak bertambah walaupun pengisian terus dilakukan sampai 2 - 3 jam kemudian.
- c. Pengisian cepat (fast charging) dilakukan pada arus yang besar yaitu mencapai 60 - 100 A pada waktu yang singkat kira-kira 1 jam dimana baterai akan terisi sebesar tiga per empatnya. Fungsi pengisian cepat adalah memberikan baterai suatu pengisian yang memungkinkannya dapat menstarter motor yang selanjutnya generator memberikan pengisian ke baterai.

2.4.3 Perhitungan Kebutuhan Baterai

Setelah kita dapatkan jumlah total dari daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan kapal selam termasuk kebutuhan daya untuk sistem kelistrikan di kapal selam, langkah selanjutnya adalah kita memperhitungkan estimasi jumlah baterai yang dibutuhkan. Untuk menghitung kapasitas baterai, kita dapat menggunakan formula sebagai berikut:

$$nQ = \frac{Q_{tot}}{Q_{batt}}$$

Setelah menggunakan formula di atas, selanjutnya kita menghitung pemenuhan tegangan dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$nV = \frac{V_{charger}}{V_{batt}}$$

Langkah berikutnya ialah menghitung total kebutuhan baterai dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$n = nQ \times nV$$

Untuk menghitung waktu lamanya pengisian baterai, dapat menggunakan formula sebagai berikut:

$$t = \frac{Q_{batt} \times V_{batt}}{P2}$$

2.5 Pembebanan pada Kapal Selam mini

Terdapat beberapa pembebanan daya untuk penerangan di kapal selam mini yang akan dirancang seperti berikut:

- Ruang kemudi

- Kamar tidur
- Gangway
- Dapur
- Mess Room
- Ruang Mesin
- Ruang Persenjataan
- Ruang Rapat

2.6 Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal yang berlawanan dengan arah gerakan kapal. Hambatan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal (Harvald, 1983). Hambatan kapal ini nantinya akan diatasi oleh gaya dorong yang dihasilkan oleh sistem propulsi kapal sehingga kapal dapat bergerak dengan kecepatan yang telah direncanakan. Hambatan kapal merupakan fungsi dari angka Froude Number (F_n). Menurut Holtrop & Mennen, hambatan total kapal dibagi menjadi 2 komponen hambatan yaitu:

1. Hambatan Kekentalan (Viscous Resistance)
2. Hambatan Gelombang (Wave Resistance)

Untuk menghitung kedua komponen hambatan tersebut dijelaskan dalam buku *Principle of Naval Architecture – Resistance, Propulsion and Vibration*, Edward V. Lewis, SNAME yaitu sebagai berikut:

$$R_{tot} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Stot \cdot [CF (1 + k1) + CA] + \frac{RW}{W}$$

2.7 Baterai Lead Acid

Baterai adalah sebuah perangkat yang mengandung sel listrik dan dapat menyimpan energi yang dapat dikonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai merupakan sebuah sel listrik dimana terjadi didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversible (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia reversibel adalah didalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda - elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel. Baterai terdiri dari dua jenis yaitu,

baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan pada sekali pemakaian saja dan tidak dapat diisi ulang. Hal ini terjadi karena reaksi kimia pada material aktifnya tidak dapat dikembalikan. Sedangkan baterai sekunder dapat diisi ulang, karena material aktifnya didalam dapat diputar kembali. Kelebihan dari pada baterai sekunder adalah harganya lebih efisien untuk penggunaan jangka waktu yang panjang. Teknologi battery telah berkembang terus hanya ada dua jenis battery yang telah dikembangkan yaitu Lead Acid, dan Lithium Ion. Hingga saat ini teknologi battery kapal selam masih didominasi menggunakan battery lead acid karena lebih unggul. Perkembangan teknologi baterai lead acid terbagi atas dua yaitu VLA (valve lead acid) dan VRLA (valve regulated lead acid). Dalam kaitan ini dibatasi pembahasannya mengenai Baterai Asam Timbal.

Baterai asam timbal ditemukan pada tahun 1859 oleh Gaston Planté dan pertama kali ditunjukkan ke Akademi Ilmu Pengetahuan Prancis pada tahun 1860. Mereka tetap menjadi teknologi pilihan untuk aplikasi SLI (Starting, Lighting and Ignition) otomotif karena mereka tangguh, toleran terhadap pelecehan, percobaan dan diuji dan karena harganya murah. Untuk aplikasi daya yang lebih tinggi dengan muatan intermiten, baterai asam timbal umumnya terlalu besar dan berat dan mereka mengalami siklus hidup yang lebih pendek dan kekuatan khas yang dapat digunakan hingga hanya 50% kedalaman *discharge* (DOD). Meskipun kekurangan ini baterai asam timbal masih ditetapkan untuk aplikasi PowerNet (kapasitas 36 Volt 2 kWh) karena biayanya, tapi ini mungkin adalah batas penerapannya dan baterai NiMH dan Li-Ion membuat terobosan ke pasar ini. Untuk tegangan dan beban siklik yang lebih tinggi, teknologi lainnya sedang dieksplorasi. Banyak kimia sel kompetitif baru sedang dikembangkan untuk memenuhi persyaratan industri otomotif untuk aplikasi EV dan HEV. Bahkan setelah 150 tahun sejak penemuannya, perbaikan masih dilakukan pada baterai asam timah dan terlepas dari kekurangan dan persaingan dari kimia sel yang lebih baru, baterai asam timbal masih mempertahankan bagian terbesar dari pasar baterai daya tinggi. Baterai lead-acid memiliki 2 kutub / terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar atau lebih tebal dari kutub negatif (-), untuk menghindarkan kelalaian bila baterai hendak dihubungkan dengan kabel-kabelnya.

Plat positif dan plat negatif pada baterai merupakan komponen utama dari baterai. Kualitas plat sangat menentukan kualitas suatu baterai, plat-plat tersebut terdiri dari rangka yang terbuat dari paduan timbal antimon yang di isi dengan suatu bahan aktif. Bahan aktif pada plat positif adalah timbal peroksida yang berwarna coklat, sedang pada plat negatif adalah spons - timbal yang berwarna abu abu.

Antara plat positif dan plat negatif disisipkan lembaran separator yang terbuat dari serat selulosa yang diperkuat dengan resin. Lembaran lapisan serat gelas dipakai untuk melindungi bahan aktif dari plat positif, karena timbal peroksida mempunyai daya kohesi yang lebih rendah dan mudah rontok jika dibandingkan dengan bahan aktif dari plat negatif. Jadi, fungsi lapisan serat gelas disini adalah untuk memperpanjang umur plat positif agar dapat mengimbangi plat negatif, selain itu lapisan serat gelas juga berfungsi melindungi separator.

Pada baterai terdapat cairan elektrolit yang dipakai untuk mengisi baterai. Cairan elektrolit tersebut adalah larutan encer asam sulfat yang tidak berwarna dan tidak berbau. Elektrolit ini cukup kuat untuk merusak pakaian. Untuk cairan pengisi baterai dipakai elektrolit dengan berat jenis 1.260 pada 20° C. batas minimum dan maksimum tinggi permukaan cairan elektrolit baterai untuk masing-masing sel. Dibawah ini merupakan kelebihan dan kekurangan dari baterai lead acid sebagai berikut:

- Kelebihan baterai lead acid :

1. Biaya rendah.
2. Dapat diandalkan Lebih dari 140 tahun pembangunan.
3. Kuat. Toleran terhadap pelecehan
4. Toleran untuk pengisian yang berlebihan
5. Impedansi internal rendah.
6. Bisa mengantarkan arus sangat tinggi.
7. Masa simpan tidak terbatas jika disimpan tanpa elektrolit.
8. Bisa dibiarkan dengan biaya menetes atau mengapung untuk waktu yang lama.
9. Beragam ukuran dan kapasitas yang tersedia.
10. Banyak pemasok di seluruh dunia.
11. Produk paling banyak didaur ulang di dunia.

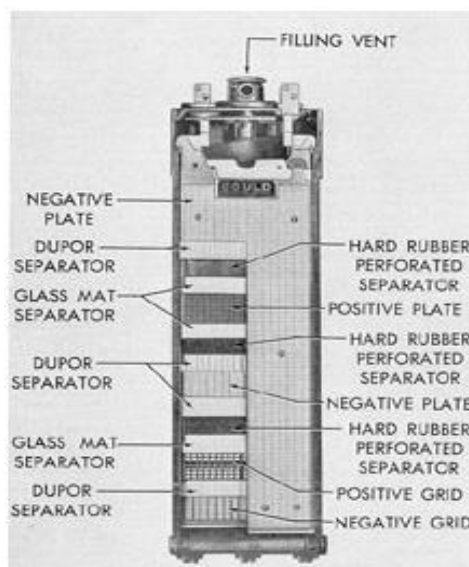
- Kekurangan baterai lead acid :

1. Sangat berat dan besar.
2. Efisiensi muatan coulombic khas hanya 70% tapi bisa setinggi 85% sampai 90% untuk desain khusus.
3. Bahaya panas berlebih saat pengisian
4. Tidak cocok untuk pengisian cepat
5. Siklus hidup khas 300 sampai 500 siklus.
6. Harus disimpan dalam keadaan terisi begitu elektrolit telah diperkenalkan untuk menghindari kerusakan bahan kimia aktif.

Baterai timbal-asam terdiri dari katoda Timbal-dioksida, anoda timah spons spons dan larutan elektrolit asam sulfat. Unsur logam berat ini membuat mereka beracun dan pembuangan yang tidak tepat bisa berbahaya bagi lingkungan. Tegangan sel adalah 2 Volt.

Sel merupakan komponen dasar elektrokimia yang dapat menghasilkan energi listrik. Sebuah baterai dapat terdiri dari beberapa sel yang dihubungkan secara seri maupun secara paralel. Sebagai contoh, sebuah baterai lead-acid 12 volt yang terdiri dari enam buah sel tersusun seri dimana setiap sel mempunyai nilai tegangan keluaran yang sama yakni sekitar 2 volt.

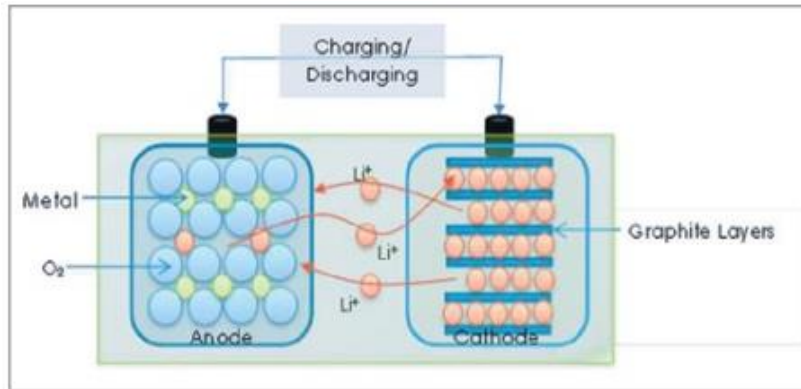
Sel merupakan komponen dasar elektrokimia yang dapat menghasilkan energi listrik. Sebuah baterai dapat terdiri dari beberapa sel yang dihubungkan secara seri maupun secara paralel. Sebagai contoh, sebuah baterai lead-acid 12 volt yang terdiri dari enam buah sel tersusun seri dimana setiap sel mempunyai nilai tegangan keluaran yang sama yakni sekitar 2 volt.



Gambar 2. 8 Baterai Kapal Selam

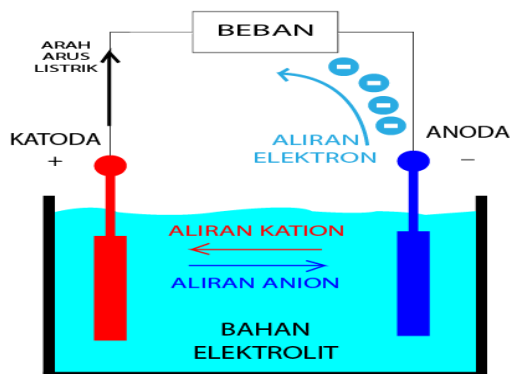
(Sumber: *thetricountypress.com*)

Didalam setiap sel baterai terdiri dari dua buah elektroda yang terendam didalam bahan elektrolit. Elektroda positif dinamakan katoda dan elektroda negatif dinamakan anoda seperti ditunjukkan pada gambar II.5.



Gambar 2. 9 Katoda dan Anoda pada Sel Baterai
(Sumber: researchgate.net)

Ketika sebuah beban dihubungkan pada kutub-kutub baterai (Anoda dan Katoda), maka reaksi kimia akan berlangsung pada katoda dan anoda. Proses reaksi kimia antara anoda dengan bahan elektrolit akan mendorong elektron keluar dari bahan elektrolit menuju anoda. Elektron-elektron yang telah terkumpul pada anoda akan mengalir menuju katoda karena terjadi beda potensial. Hal ini dapat berlangsung secara terus menerus dikarenakan pada bahan elektrolit terjadi proses aliran ion negatif (anion) dan ion positif (kation) pada anoda dan katoda.



Gambar 2. 10 Proses Elektrokimia pada Sel Baterai
(Sumber: researchgate.net)

Selama proses produksi energi listrik (*Discharge Cycl*) tersebut, jumlah keasaman pada bahan elektrolit akan berkurang dan elektroda positif dan negatif akan menjadi unsur yang sejenis. Ketika elektroda positif dan negatif menjadi unsur yang sejenis, atau dalam kondisi jenuh, maka tegangan antara elektroda positif dan

negatif akan menjadi kosong dikarenakan tidak ada beda potensial sehingga arus listrik juga tidak mengalir. Pada baterai, didalam sel terdapat sumbat. Sumbat dipasang pada lubang untuk mengisi elektrolit pada tutup baterai, biasanya terbuat dari plastik. Sumbat pada Baterai motor tidak mempunyai lubang udara. Gas yang terbentuk dalam Baterai disalurkan melalui slang plastik/ karet. Uap asam akan tertahan pada ruang kecil pada tutup baterai, kemudian asamnya dikembalikan kedalam sel.

- Kapasitas baterai

Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas baterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh besar / banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (discharging) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam Ah (Ampere – hour).

Sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Pada saat baterai diisi (charging), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (Ampere - hour), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk menyuplai beban ke pelanggan. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini:

$$\text{Ah} = \text{Kuat Arus (ampere)} \times \text{waktu (hours)}$$

2.8 Prinsip Kerja BMS

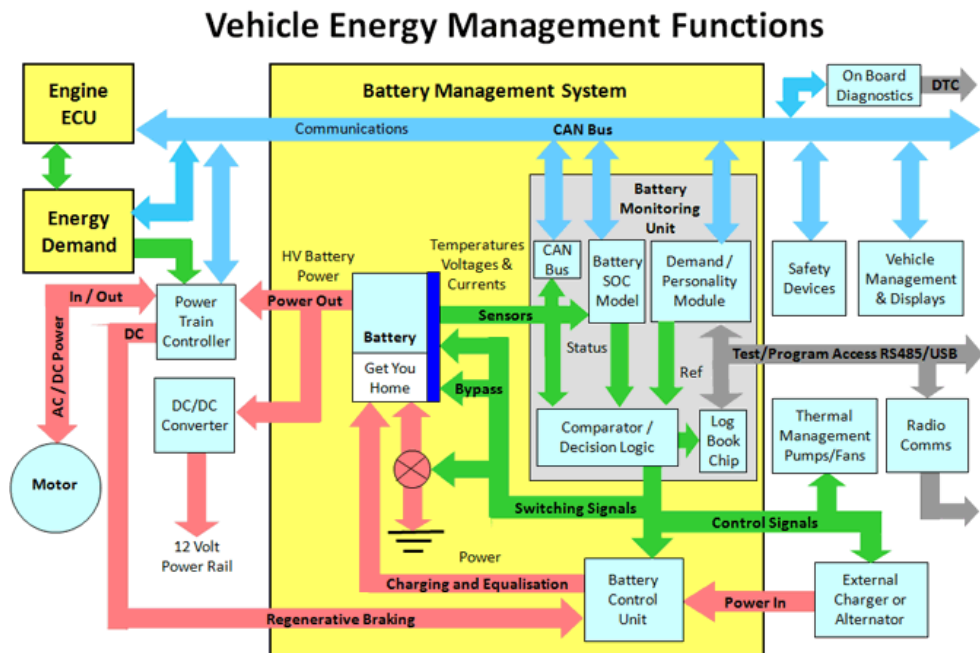
BMS adalah suatu sistem pemantauan baterai, dengan tetap memeriksa parameter operasional utama selama pengisian dan pengosongan seperti voltase, arus dan suhu internal baterai. Rangkaian yang memonitor biasanya memberi masukan pada perangkat perlindungan yang akan menghasilkan alarm, melepaskan baterai dari beban atau pengisi daya jika ada parameter yang sampai ke luar batas. Sistem seperti ini tidak hanya mencakup pemantauan dan perlindungan baterai, tetapi juga metode ini untuk membuat baterai tersebut dapat memberikan kekuatan penuh saat diperlukan dan juga dapat membuat *lifetime* yang lama. Istilah – istilah yang digunakan dalam BMS adalah sebagai berikut:

SOH : *State of health*, merupakan indikator kondisi performa baterai, dengan menunjukkan kinerja baterai yang dibandingkan dengan kondisi baterai saat masih baru, dengan asumsi kondisi baterai saat masih baru dalam kondisi yang terbaik, umumnya ditunjukkan dengan persentase, 0%-100%.

SOC : *State of charge*, adalah rasio kapasitas energy yang tersedia, dengan kapasitas energy maksimum. Nilai SOC dinyatakan dalam persentase, 0%-100%, dimana 0% menyatakan baterai dalam keadaan kosong tanpa ada kapasitas energy yang tersimpan, sedangkan nilai 100% merupakan keadaan baterai ketika kapasitas energy tersimpan penuh.

DOD : *Depth of Discharge*, merupakan batas kedalaman pelepasan energy (*discharge*) pada baterai tersebut. Contoh, produsen baterai umumnya memberi nilai DoD sebesar 80%, yang berarti hanya 80% dari energy yang tersedia yang dikeluarkan dan 20% tetap di cadangan. Baterai yang tidak dikuras habis sampai 100% kosong akan mencegah pengerusakan dan memperpanjang *life cycle* baterai. DOD ini juga berpengaruh pada jumlah siklus charge-discharge pada umur baterai. Sembaterain banyak energi dari suatu baterai dikeluarkan maka umur baterai akan sembaterain pendek.

BMS adalah komponen Sistem Manajemen Energi yang bertindak lebih cepat dan harus berinteraksi dengan sistem on board lainnya seperti manajemen mesin, kontrol iklim, sistem komunikasi dan keselamatan kerja. Dengan demikian banyak variasi dari sistim BMS ini.



Gambar 2. 11 Ilustrasi BMS

(Sumber: sciencedirect.com)

a. BMS Konvensional

Baterai memberikan informasi tentang spesifikasi, kondisi saat ini dan riwayat penggunaannya yang digunakan oleh pengisi daya untuk menentukan profil pengisian yang optimal atau, dengan aplikasi penggunaannya, untuk mengendalikan pemakaianannya.

Tujuan utama dari kombinasi pengisi baterai / baterai adalah untuk memungkinkan penggabungan rangkaian Sirkuit Perlindungan yang lebih luas yang mencegah pengisian daya, atau kerusakan baterai yang berlebihan dan dengan demikian memperpanjang umurnya. Kontrol pengisian daya bisa dalam baterai atau pengisi daya. Tujuan dari kombinasi aplikasi / baterai adalah untuk mencegah overload dan menghemat baterai. Serupa dengan kombinasi pengisi daya, kontrol debit bisa dalam aplikasi atau baterai.

Meskipun beberapa sel khusus yang menggabungkan kecerdasan telah dikembangkan, kecerdasan lebih mungkin diterapkan pada kemasan baterai.

Sistem kerjanya bekerja sebagai berikut :

Baterai Cerdas, atau Smart Battery, menyediakan keluaran dari sensor yang memberikan status tegangan, arus dan suhu aktual dalam baterai dan juga status pengisian daya. Hal ini juga dapat memberikan fungsi alarm yang menunjukkan

kondisi toleransi. Baterai Cerdas juga berisi chip memori yang diprogram oleh produsen dengan informasi tentang spesifikasi baterai seperti :

- Data manufaktur (Nama, tanggal, nomor seri dll)
- Kimia sel
- Kapasitas sel
- Kode garis mekanis
- Batas tegangan atas dan bawah
- Batas maksimum saat ini
- Batas suhu

Setelah baterai digunakan, memori juga dapat merekam:

- Berapa kali baterai telah terisi dan habis.
- Waktu berlalu
- Impedansi internal baterai
- Profil suhu yang menjadi sasarannya
- Pengoperasian sirkuit pendinginan paksa
- Contoh kapan batas terlampaui.

Sistem ini juga memerlukan perangkat yang mungkin berada dalam baterai atau pengisi daya atau keduanya yang dapat mengganggu atau memodifikasi pengisian sesuai dengan seperangkat aturan. Demikian pula, pelepasan baterai dapat dikendalikan oleh sirkuit manajemen baterai atau permintaan dalam aplikasi. Baterai Cerdas juga membutuhkan Intelligent Charger yang bisa diajak berkomunikasi dan bahasa yang bisa mereka gunakan.

Pengisi daya diprogram untuk merespons masukan dari baterai, untuk mengoptimalkan profil pengisian daya, mengisi daya pada tingkat maksimum sampai suhu yang ditentukan tercapai, kemudian melambat atau menghentikan muatan atau menyalakan kipas pendingin agar tidak melebihi batas suhu dan dengan demikian terhindar dari kerusakan permanen pada baterai. Jika kerusakan pada impedansi internal baterai menunjukkan bahwa rekondisi diperlukan, charger juga dapat diprogram untuk mereformasi baterai dengan menundukkannya pada beberapa muatan dalam, siklus pengosongan. Karena baterai berisi informasi tentang spesifikasi yang dapat dibaca oleh pengisi daya, dimungkinkan untuk membuat Universal Charger yang dapat secara otomatis menyesuaikan profil pengisian daya dengan berbagai kimia baterai dan kapasitasnya, asalkan sesuai dengan protokol pesan yang disepakati.

Saluran komunikasi terpisah diperlukan untuk memfasilitasi interaksi antara baterai dan pengisi daya. Salah satu contoh yang digunakan untuk aplikasi sederhana adalah System Management Bus (SMBus) yang merupakan bagian dari Smart Battery System yang digunakan terutama pada aplikasi berdaya rendah. Baterai yang sesuai dengan standar SBS disebut Smart Batteries. Baterai cerdas namun tidak terbatas pada skema SMS dan banyak produsen telah menerapkan skema kepemilikan mereka sendiri yang mungkin lebih sederhana atau lebih kompleks, tergantung pada persyaratan aplikasi. Kenaikan baterai 50% telah diklaim dengan menggunakan teknik semacam itu.

b. Baterai Cerdas

Ini adalah contoh Sistem Pengendalian Otomatis dimana baterai memberikan informasi tentang kondisinya yang sebenarnya ke pengisi daya yang membandingkan kondisi sebenarnya dengan kondisi yang diinginkan dan menghasilkan sinyal kesalahan yang digunakan untuk melakukan tindakan pengendalian untuk membawa kondisi aktual ke garis dengan kondisi yang diinginkan. Sinyal kontrol membentuk bagian dari Feedback Loop yang memberikan kompensasi otomatis untuk menjaga agar baterai tetap dalam parameter operasi yang diinginkan. Ini tidak memerlukan intervensi pengguna. Beberapa bentuk sistem kontrol otomatis merupakan bagian penting dari semua BMS

c. Pembangkit Listrik BMS

Persyaratan pengelolaan baterai sangat berbeda untuk instalasi darurat dan darurat. Baterai mungkin tidak aktif dalam jangka waktu lama dengan biaya tetesan dari waktu ke waktu, atau seperti dalam instalasi telekomunikasi, mereka mungkin akan mengenakan muatan pelampung agar tetap terisi penuh setiap saat. Dengan sifatnya, instalasi semacam itu harus tersedia untuk digunakan setiap saat. Tanggung jawab penting untuk mengelola instalasi tersebut adalah untuk mengetahui status baterai dan apakah dapat diandalkan untuk mendukung bebannya selama pemadaman listrik. Untuk ini sangat penting untuk mengetahui SOH dan SOC dari baterai. Dalam kasus baterai asam timbal, SOC sel individual dapat ditentukan dengan menggunakan alat pengukur hidrometer untuk mengukur berat jenis elektrolit dalam sel. Secara tradisional, satu-satunya cara untuk menentukan SOH adalah dengan melakukan pengujian debit, yaitu dengan benar-benar mengeluarkan baterai dan mengukur hasilnya. Pengujian semacam itu sangat merepotkan. Untuk pemasangan besar dibutuhkan delapan jam untuk melepaskan baterai dan tiga hari lagi untuk mengisi ulang baterai. Selama waktu ini instalasi akan tanpa daya darurat kecuali jika ada baterai cadangan.

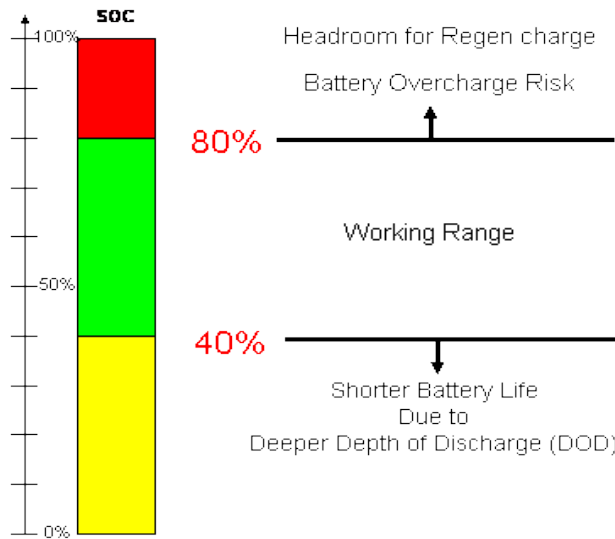
Cara modern untuk mengukur SOH baterai adalah dengan pengujian impedansi atau dengan pengujian konduktansi. Telah ditemukan bahwa impedansi sel memiliki korelasi terbalik dengan SOC dan konduktansi menjadi timbal balik impedansi memiliki korelasi langsung dengan SOH sel. Kedua tes ini bisa dilakukan tanpa pemakaian baterai, tapi yang lebih bagus lagi perangkat pemantau tetap ada yang menyediakan pengukuran on line permanen. Hal ini memungkinkan insinyur pabrik untuk melakukan penilaian kondisi baterai yang up to date sehingga setiap penurunan kinerja sel dapat dideteksi dan tindakan perawatan yang tepat dapat direncanakan.

d. Perlindungan Sel

Salah satu fungsi utama Sistem Manajemen Baterai adalah memberikan pemantauan dan pengendalian yang diperlukan untuk melindungi sel dari kondisi ambien atau pengoperasian yang tidak sesuai. Ini sangat penting dalam aplikasi otomotif karena lingkungan kerja yang keras. Serta perlindungan sel individu, sistem otomotif harus dirancang untuk merespons kondisi kesalahan eksternal dengan mengisolasi baterai dan juga mengatasi penyebab kesalahan. Misalnya kipas pendingin bisa dinyalakan jika baterai terlalu panas. Jika overheating menjadi berlebihan maka baterai bisa terputus.

- Battery State of Charge (SOC)

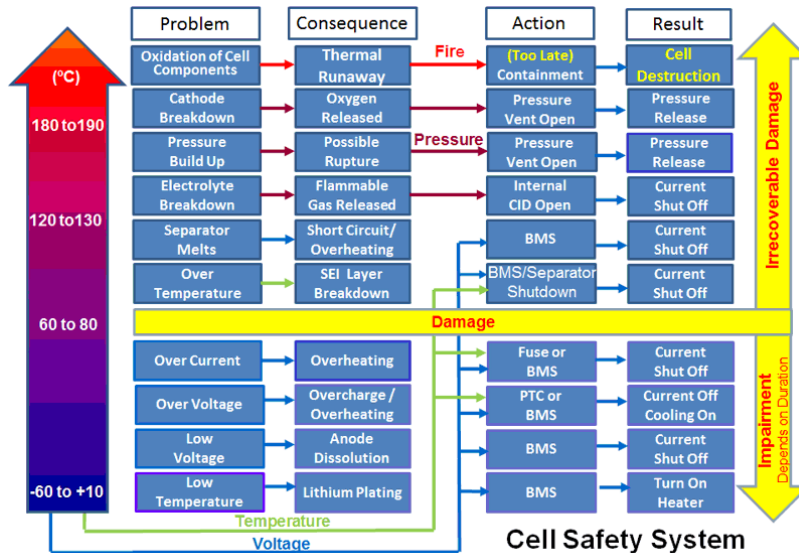
Menentukan State of Charge (SOC) baterai adalah fungsi utama kedua dari BMS. SOC dibutuhkan bukan hanya untuk menyediakan indikasi Fuel Gauge. BMS memonitor dan menghitung SOC dari masing-masing sel di baterai untuk memeriksa biaya seragam di semua sel untuk memastikan bahwa sel-sel individual tidak menjadi terlalu ketat. Indikasi SOC juga digunakan untuk menentukan akhir siklus pengisian dan pengosongan. Over-charging dan over-pemakaian adalah dua penyebab utama kegagalan baterai dan BMS harus menjaga sel-sel di dalam batas-batas operasi DOD yang diinginkan.



Gambar 2. 12 Ilustrasi SOC BMS
(Sumber: mpoweruk.com)

- **Sistem Keselamatan Baterai**

Gambar di bawah ini menunjukkan mekanisme kegagalan sel yang mungkin terjadi, konsekuensinya dan tindakan yang perlu dilakukan oleh Sistem Manajemen Baterai.



Gambar 2. 13 Sistem Pengaman Sel
(Sumber: mpoweruk.com)

BMS harus melindungi baterai dan pengguna dalam semua kondisi ini.

BMS adalah bagian dari sistem keamanan multi tingkat dengan tujuan dan pengamanan berikut :

1. Intrinsik sel Aman kimia

- Audit desain teknik seluler

2. Pemasok Sel dan Audit Produksi

- Kompetensi teknis staf
- Kontrol proses (Terpasang dan bekerja)

3. Perangkat keamanan tingkat sel (internal)

- Circuit Interrupt Device (CID) Menghentikan sirkuit jika batas tekanan internal terlampaui
- Matikan separator
- Tekanan ventilasi

4. Perangkat sirkuit eksternal

- Resistor PTC (hanya aplikasi daya rendah)
- Sekring
- Isolasi sel dan baterai. Pemisahan listrik dan mekanis (kontaktor dan pemisahan fisik) untuk mencegah penyebaran kejadian

5. Perangkat Lunak BMS

- Pemantauan semua indikator kunci digabungkan untuk mengendalikan tindakan. (Pendingin, Putus Daya, Manajemen Beban)
- Kontrol tindakan atau matikan jika terjadi kondisi di luar batas

6. BMS Hardware - Gagal back-up yang aman

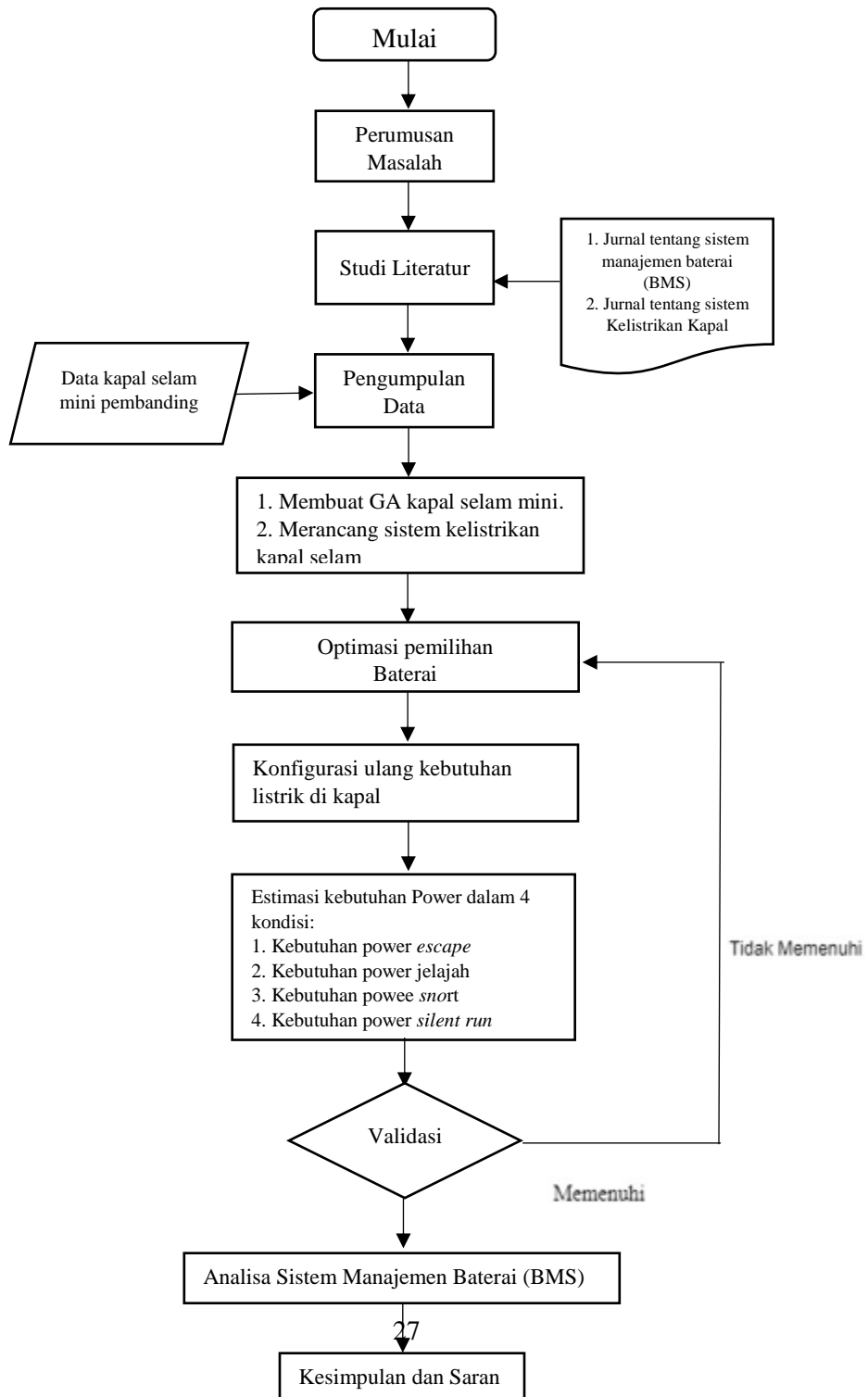
- Perangkat keras dimatikan jika terjadi kegagalan perangkat lunak. Atur ke batas sedikit lebih tinggi
- Baterai dimatikan jika catu daya BMS tegangan rendah gagal

7. Penahanan

- Tangki luar yang kuat dengan ventilasi terkontrol
- Hambatan fisik antar sel

BAB III

METODE PENELITIAN



3.1 Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir

Dalam karya ilmiah yang baik perlu memiliki metodologi yang terperinci dengan sumber informasi yang sebanyak-banyaknya. Untuk mencapai hasil yang diinginkan, maka dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diperlukan kerangka pengerjaan yang tersrtuktur. Metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah diatas digunakan metode perhitungan dan analisa. Dimana dalam perhitungan yang dilakukan yaitu pemilihan total semua beban yang ada.

Dalam perencanaan eksperimen ini menggunakan tahapan-tahapan pengerjaan sebagai berikut :

1. Perumusan Masalah

Tahapan awal yang dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir adalah mengidentifikasi masalah yang ada untuk kemudian akan dicari penyelesaiannya pada pengerjaan Tugas Akhir ini.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pendalaman lebih lanjut untuk memahami teori – teori yang diperoleh dari beberapa literatur, buku, serta jurnal mengenai sistem kelistrikan dan baterai pada kapal Selam.

3. Pengambilan Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengambilan data berupa dimensi kapal selam mini yang akan dirancang.

4. Perhitungan

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan daya kebutuhan untuk kelistrikan di kapal selam beserta untuk sistem propulsinya, kemudian menghitung daya yang dapat dihasilkan oleh baterai dan menghitung optimasi jumlah baterai yang digunakan.

5. Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini akan dilakukan analisa dan pembahasan terhadap kelayakan baterai apakah akan mampu memenuhi kebutuhan listrik dan sistem propulsi di kapal selama beroperasi dan juga menganalisa bagaimana cara manajemen baterai.

6. Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisis terhadap kelayakan baterai sebagai sumber energi listrik pada kapal selam dan juga sistem propulsinya, maka dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian serta saran bagi penelitian yang telah dilakukan.

7. Penyusunan Laporan

Pada tahap ini akan dilakukan penyusunan laporan sesuai dengan aturan penulisan yang baik dan benar.

3.2 Jadwal Kegiatan

NO	KEGIATAN	BULAN					
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
1	Perumusan masalah	X	X				
2	Studi literatur	X	X				
3	Pengumpulan data		X	X			
4	Menggambar GA kapal Selam mini		X	X			
5	Pemilihan Baterai, pemilihan generator				X	X	
6	Analisa sistem manajemen pada baterai					X	
7	Analisa dan Kesimpulan					X	X
8	Penyusunan Laporan					X	X

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kapal Selam Mini

Dalam pengerjaan skripsi ini membutuhkan data kapal yang dijadikan sebagai objek penelitian. Kapal yang digunakan sebagai objek penelitian dalam skripsi ini berasal dari BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) yang juga sedang merencanakan untuk mendesain kapal selam mini ini. Ukuran utama kapal tersebut adalah sebagai berikut:

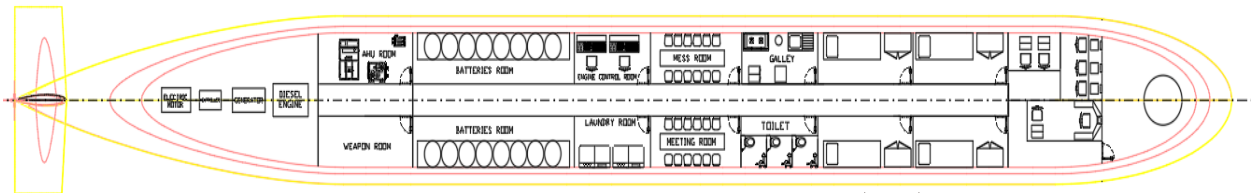
Tabel 4. 1 Data Utama Kapal

DIAMETER	3,5 Meter
TINGGI DENGAN SUPER STRUKTUR	4 Meter
PANJANG (LPP)	32 Meter
KEDALAMAN MAKSIMUM	200 Meter
KECEPATAN MAKSIMUM	15 KNOT
SILENT RUN	4 KNOT
RADIUS JELAJAH	4000 NM MAKS
KEDALAMAN SNORKLING	10 Meter
JUMLAH AWAK	8 ORANG + KOMANDO 4 ORANG
SENJATA TORPEDO	SUT 2 BUAH
BATTERY	LEAD ACID

(Sumber: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi)

4.2 General Arrangement Submarine

Gambar rencana umum atau General Arrangement dari kapal selam yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar IV.I berikut.



Gambar 4. 1 *Rencana Umum Kapal Selam Mini*

Berdasarkan gambar IV.1 ada beberapa ruangan yang tertera di kapal selam mini, diantaranya adalah sebagai berikut:

- | | | |
|---------------|-----------------|-------------------------------|
| 1. NAVIGATION | 6. MEETING ROOM | 11. WEAPON ROOM |
| 2. CREW ROOM | 7. ECR | 12. ENGINE ROOM & SPACE MOTOR |
| 3. GALLEY | 8. LAUNDRY ROOM | 13. TORPEDO ROOM |
| 4. TOILET | 9. BATTERY ROOM | |
| 5. MESS ROOM | 10. AHU ROOM | |

4.3 Analisa Beban Lampu Penerangan

4.3.1 Menghitung beban penerangan

Terdapat tabel di bawah ini yang menunjukkan fluksi cahaya berdasarkan jenis ruangan yang tertera pada kapal

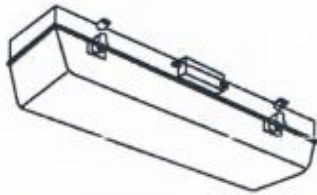

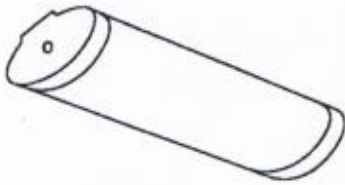

Tabel 4. 2 Intensitas iluminasi cahaya

Pedoman Untuk Intensitas Iluminasi Cahaya	
Biro Klasifikasi Indonesia	
JENIS RUANGAN	FLUKSI CAHAYA (Lux)
Ruang palka Ruang kerja Jalan Lalu lintas diatas deck	20 sampai 40 lux
Lorong dan jalan masuk Tempat peluncuran sekoci Kamar kecil Kamar mandi Bioskop Terowongan poros	50 sampai 70 lux
Kamar Peta Ruang kemudi Kabin penumpang Kabin awak kapal	100 sampai 150 lux
Ruang Mesin Ruang Komisaris/pemilik Ruang istirahat Ruang duduk Ruang makan/minum Perpustakaan	200 sampai 500 lux
Rumah sakit	200 lux

(Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia)

Beban lampu penerangan merupakan total kebutuhan daya yang dibutuhkan oleh kapal selam mini untuk menerangi kapal. Beban lampu penerangan ini terdiri atas lampu penerangan pada setiap ruangan, beban pada stop kontak. Untuk menentukan tipe lampu setiap ruangan dan intensitas iluminasi cahaya berpedoman pada BKI, yaitu bisa kita liat pada tabel berikut:

Tabel 4. 3 *Klasifikasi Pemilihan Lampu*

No	Klasifikasi	Model	Keterangan
1	-Kamar mandi -Kamar cuci -Kamar kecil -Kamar pengering		- tipe pasangan dengan kap menonjol - kedap air - Kaca pelindung warna terang Indeks 4 : FL 15w x 1 Indeks 4B :FL 20w x 2
2	- Saluran dalam - Tangga		- Tipe pasangan dengan kap menonjol - Tidak kedap air - Kaca pelindung warna susu Indeks 6 : FL 20w x 1
3	- Kamar crew		- Tipe pasangan dengan kap menonjol - Tidak kedap air - Kaca pelindung warna susu Indeks 9 : FL 20w x 1
4	- Kamar kapten - Kamar perwira		- Tipe pasangan dengan kap tenggelam - Tidak kedap air - Kaca pelindung warna susu Indeks 10B : FL 20w x 2 Indeks 9B : FL 20w x 1

Berdasarkan Pada tabel 4.2 dan 4.3 kita bisa menentukan lux, tipe lampu pada tiap ruangan yang ada di kapal selam mini. Adapun penerangan nya dengan tingkat kecerahan dalam satuan lux sebagai berikut:

	Nama Ruangan	Tingkat Kecerahan
1.	Toilet	50 lux
2.	Galley	100 lux
3.	Navigation	200 lux
4.	Kamar Crew	100 lux
5.	Laundry Room	50 lux
6.	Mess room	200 lux
7.	Meeting Room	200 lux
8.	AHU Room	100 lux
9.	Battery Room	100 lux
10.	Weapon Room	100 lux
11.	Engine Control Room	100 lux
12.	Gangway	200 lux

Selanjutnya akan dicari index dari setiap ruangan untuk mengetahui efisiensi armature penerangan yang digunakan. Hasil indeks ruangan ini diinterpolasikan pada nilai indeks armature yang terdapat pada tabel faktor (k) pada masing-masing jenis armature yang digunakan. Adapun formula untuk mencari nilai index (k) yaitu sebagai berikut:

$$\frac{P \times L}{h (P + L)}$$

Dimana:

P = Panjang ruangan

L = Lebar ruangan

h = Tinggi Ruangan – Tinggi Bidang Kerja

Berdasarkan rumus tersebut dapat kita lakukan contoh perhitungan untuk mendapatkan index setiap ruangan yang kita desain sebagai berikut:

Crew Room:

P: 2.5

L: 1

h: 1.9

$$K = \frac{2.5 \times 1}{1.9 (2.5 + 1)}$$

$$K = \frac{2.5}{6.65} = 0.37594$$

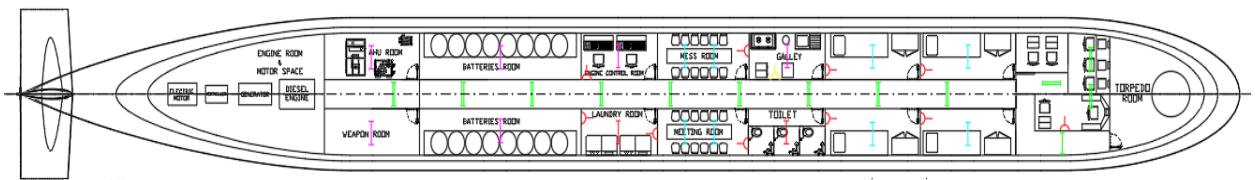
Setelah mendapatkan nilai index dari setiap ruangan, selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai flux setiap ruangan. flux itu sendiri adalah cahaya total yang dipancarkan oleh sebuah sumber. Sedangkan untuk formula mencari nilai fluk (lumen) yaitu sebagai berikut:

$$\text{Flux} = \sum \text{Armature} \times \text{Daya} \times k$$

Adapun peletakkan dan penentuan stop kontak pada setiap ruangan di kapal selam mini ini sesuai dengan kebutuhan pengoperasian nya dari setiap ruangan yang telah dirancang tadi, berikut data stop kontak di setiap ruangan nya:

1. Galley : 1 (2A), 1 (4A)
2. Kamar Crew : 1 2(A)
3. Laundry Room : 2 2(A)
4. Mess Room : 1 2(A)
5. Meeting Room : 1 2(A)
6. Engine Control Room : 1 2(A)

Berdasarkan data kecerahan lampu dan data stop kontak di atas, kita dapat melakukan perhitungan terhadap jumlah lampu yang dibutuhkan, total daya yang dibutuhkan dan jumlah daya yang dibutuhkan pada stop kontak. Pada kapal selam yang telah dirancang, memiliki 29 point armature, dan 12 electric terminal point atau stop kontak. Untuk beban penerangan pada ruang di kapal selam mini yang dirancang adalah sebesar 830 watt dan untuk beban stop kontak keseluruhan nya adalah sebesar 4576 Watt. Sehingga total beban penerangan dan stop kontak pada kapal selam mini ini adalah sebesar 5406 Watt. Bisa kita lihat pada gambar IV.2 peletakan lampu dan stop kontak pada kapal selam mini.



Gambar 4. 2 Lokasi lampu dan stop kontak

Berikut adalah hasil perhitungan dari index setiap ruangan, flux setiap ruangan dan perhitungan power penerangan dan stop kontak pada kapal selam mini, dapat dilihat pada tabel IV.4 sebagai berikut.

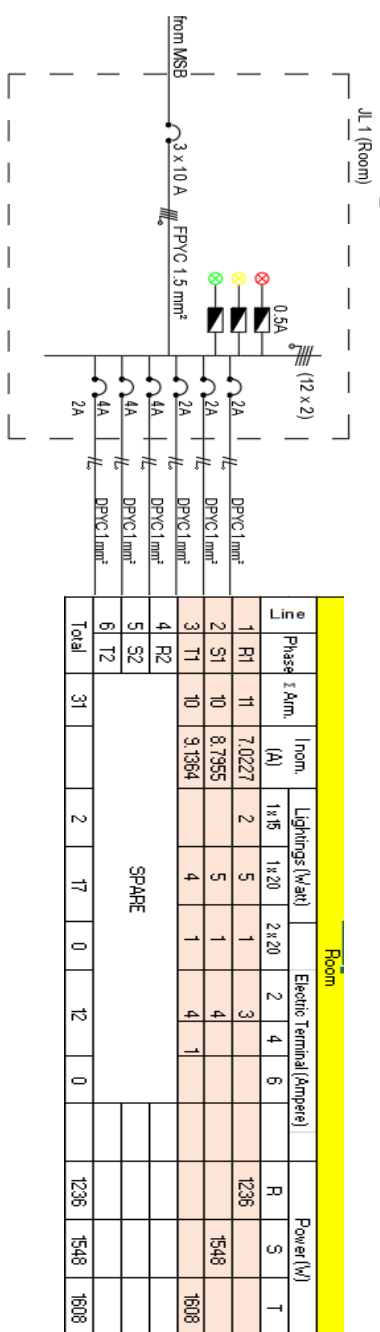
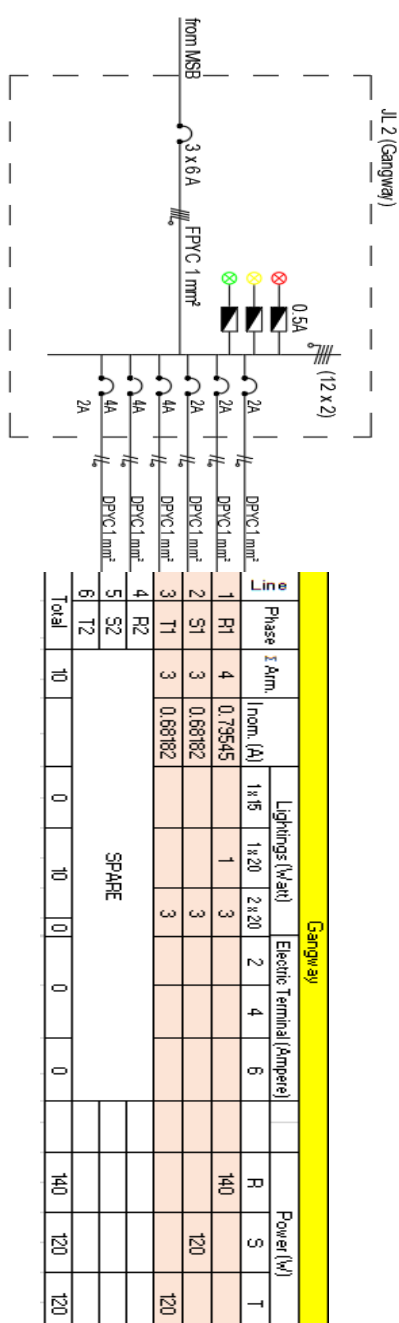
Tabel 4. 4 Perhitungan penerangan

No	Room	Dimension			H	h	Area	Index	Intensity "E"	Type of Armature			power
		P (m)	l (m)	t (m)	(m)	(m)	(m ²)	"k"	(lux)	index	Z	Type	
1	Toilet	2	1	2,5	0	2,5	2	0,26667	50	4	1	FL	15
2	Galley	2	1	2,5	0	2,5	2	0,26667	100	13	1	FL	20
3	Gangway 1 (Navigation)	2,5	2,5	2,5	0	2,5	6,25	0,5	200	6	2	FL	20
4	crew	2,5	1	2,5	0,6	1,9	2,5	0,37594	100	9	1	FL	20
5	crew	2,5	1	2,5	0,6	1,9	2,5	0,37594	100	9	1	FL	20
6	crew	2,5	1	2,5	0,6	1,9	2,5	0,37594	100	9	1	FL	20
7	crew	2,5	1	2,5	0,6	1,9	2,5	0,37594	100	9	1	FL	20
8	Laundry room	2,0	1	2,5	0,8	1,7	2	0,39216	50	4	1	FL	15
9	Mess Room	2,4	1	2,5	0,8	1,7	2,4	0,41522	200	9	1	FL	20
10	Gangway 2	18,15	0,6	2,5	0	2,5	10,89	0,23232	200	6	2	FL	20
11	AHU room	2	1	2,5	0,8	1,7	2	0,39216	100	13	1	FL	20
12	Battery room	4,25	1	2,5	0,6	1,9	4,25	0,42607	100	13	1	FL	20
13	Battery room	4,25	1	2,5	0,6	1,9	4,25	0,42607	100	13	1	FL	20
14	Meeting Room	2,4	1	2,5	0,8	1,7	2,4	0,41522	200	9	1	FL	20
15	Gangway 3 (torpedo)	2,5	0,5	2,5	0	2,5	1,25	0,16667	100	6	2	FL	20
16	Weapon Room	2	1	2,5	0,6	1,9	2	0,35088	100	13	1	FL	20
17	Engine Control Room	2	1	2,5	0,8	1,7	2	0,39216	100	13	1	FL	20

reflection			Range of Efficiency				Efficiency	Diversity	Flux	I Armature		Power	Electric Terminal "n"			
rc	rw	rf	K1	Eff 1	K2	Eff 2	for lightings	"d"	(lumen)	"n"	"N"	Armature	2 A	4 A	6 A	10 A
0,5	0,5	0,1	0,6	0,283	0,8	0,35	0,171333	0,7	1875	0,44469	1	15		0		
0,5	0,5	0,1	0,6	0,322	0,8	0,392	0,205333	0,7	2500	0,55659	1	20	1	1		
0,5	0,5	0,1	0,6	0,14	0,8	0,18	0,12	0,7	5000	2,97619	3	120	1			
0,5	0,5	0,1	0,6	0,255	0,8	0,312	0,191143	0,7	2500	0,74738	1	20	1			
0,5	0,5	0,1	0,6	0,255	0,8	0,312	0,191143	0,7	2500	0,74738	1	20	1			
0,5	0,5	0,1	0,6	0,255	0,8	0,312	0,191143	0,7	2500	0,74738	1	20	1			
0,5	0,5	0,1	0,6	0,255	0,8	0,312	0,191143	0,7	2500	0,74738	1	20	1			
0,5	0,5	0,1	0,6	0,283	0,8	0,35	0,213373	0,7	1875	0,35708	1	15	2			
0,5	0,5	0,1	0,6	0,255	0,8	0,312	0,202339	0,7	2500	1,35557	2	40	1			
0,5	0,5	0,1	0,6	0,14	0,8	0,18	0,066464	0,7	5000	9,36275	9	360				
0,5	0,5	0,1	0,6	0,322	0,8	0,392	0,249255	0,7	2500	0,45851	1	20				
0,5	0,5	0,1	0,6	0,322	0,8	0,392	0,261123	0,7	2500	0,93005	1	20				
0,5	0,5	0,1	0,6	0,322	0,8	0,392	0,261123	0,7	2500	0,93005	1	20				
0,5	0,5	0,1	0,6	0,255	0,8	0,312	0,202339	0,7	2500	1,35557	2	40	1			
0,5	0,5	0,1	0,6	0,14	0,8	0,18	0,053333	0,7	5000	0,66964	1	40				
0,5	0,5	0,1	0,6	0,322	0,8	0,392	0,234807	0,7	2500	0,48672	1	20				
0,5	0,5	0,1	0,6	0,322	0,8	0,392	0,249255	0,7	2500	0,45851	1	20	1			
										Total	29	830	11	1	0	0

Armature Point	29	Points
Electric Terminal Point	12	Points
Total Load	41	Points
Power for lightings	830	Watt
Power for Electric Terminal	4576	Watt
Total Power	5406	Watt

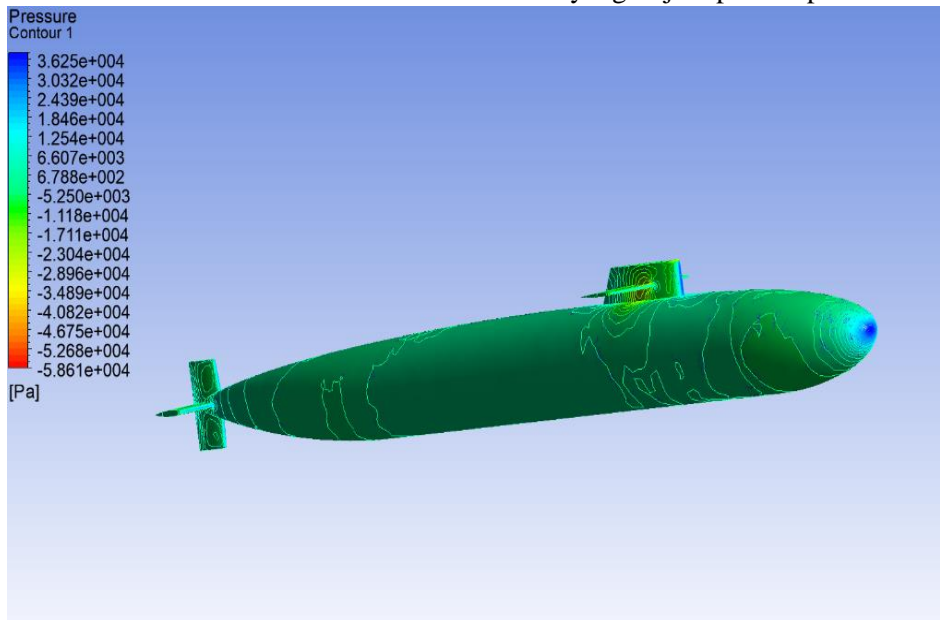
4.3.2 Wiring Diagram Lightin Panels



Wiring diagram merupakan gambaran suatu rangkaian listrik yang memberikan informasi secara detail, dari mulai symbol rangkaian sampai dengan koneksi rangkaian tersebut dengan komponen lain dan dapat menentukan pengaman daripada kabel dan busbar masing – masing beban.

4.4 Analisa Tahanan pada Kapal Selam Mini

Tahanan (resistance) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa, sehingga melawan gerakan kapal. Resistance merupakan istilah pada hidrodinamika kapal, sedangkan istilah drag umumnya dipakai pada aerodinamika dan untuk benda benam. Analisa tahanan tersebut menggunakan salah satu software yang biasa digunakan pada bidang *engineering*. Adapun parameter atau input yang kita masukkan ke dalam software tersebut agar didapatkan tahanan pada kapal selam yang kita rancang tersebut yaitu kecepatan maksimal dan kedalaman kapal maksimal yang ingin kita rancang. Berikut adalah gambar IV.3 yang menunjukkan hasil simulasi dari salah satu software untuk mencari nilai tahanan yang terjadi pada kapal.



Gambar 4. 3 Lokasi lampu dan stop kontak

Terlihat pada gambar IV.3 adalah hasil simulasi dari mencari nilai tahanan pada kapal selam mini, didapatkan hasil tahanan dengan parameter kecepatan maksimal 15 Knot dan kedalaman maksimal kapal selam 200m, didapatkan tahanan sebesar 26684.138 Newton. Terdapat dua tahanan pada kapal selam, yaitu *bare hull resistance* (R_{BH}) dan *resistance of the appendages* (R_{APP}). Bisa dilakukan perhitungan untuk mencari nilai tahanan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_{BH} &= 0.5 \rho A V^2 C_t \\
 R_{APP} &= 0.5 \rho A V^2 C_t \quad (A = 20\text{-}25 \% \text{ dari permukaan basah}) \\
 R_T &= R_{BH} + R_{APP}
 \end{aligned}$$

Didapatkan perhitungan dari tahanan disetiap kecepatan pada kapal selam mini ini, berikut pada tabel IV.5 dilampirkan sebuah tabel di bawah ini yang merupakan isi dari total tahanan yang didapatkan dari sebuah software dengan parameter sebuah kecepatan kapal maksimal.

Tabel 4. 5 *Perhitungan Tahanan*

No	Speed	Holtrop Resistance	EHP	DHP	SHP	BHP SCR	BHP MCR
	(Knot)	(Newton)	(HP)	(HP)	(HP)	(HP)	(HP)
1	0.000	0	0	0	0	0	0
2	0.500	19.79	0.006921	0.0108409	0.0110621	0.0112879	0.0132799
3	1.000	70.63	0.049402	0.0773817	0.0789609	0.0805723	0.094791
4	1.500	149.27	0.15661	0.2453086	0.2503148	0.2554233	0.300498
5	2.000	254.25	0.355669	0.5571086	0.5684782	0.5800797	0.6824468
6	2.500	384.63	0.672572	1.053494	1.0749939	1.0969325	1.2905088
7	3.000	539.75	1.132581	1.7740375	1.8102424	1.8471861	2.1731601
8	3.500	719.2	1.76065	2.7578245	2.8141066	2.8715373	3.3782792
9	4.000	923.23	2.583005	4.045934	4.1285041	4.2127593	4.9561874
10	4.500	1154.07	3.632454	5.689755	5.8058724	5.9243596	6.9698348
11	5.000	1418.29	4.9601	7.7693367	7.9278946	8.0896883	9.5172804
12	5.500	1728.86	6.650862	10.41769	10.630296	10.84724	12.761459
13	6.000	2115.82	8.879436	13.908454	14.1923	14.481939	17.037575
14	6.500	2585.56	11.75502	18.412674	18.788443	19.171881	22.555154
15	7.000	3206.15	15.69775	24.588429	25.090233	25.602279	30.120328
16	7.500	4232.98	22.20562	34.782146	35.491986	36.216312	42.607426
17	8.000	5550.86	31.0603	48.651827	49.644722	50.65788	59.597505
18	8.500	6662.28	39.60931	62.042702	63.30888	64.600898	76.001056
19	9.000	7679.22	48.34094	75.719636	77.264934	78.84177	92.755023
20	9.500	8764.32	58.23677	91.220139	93.081774	94.981402	111.74283
21	10.000	9245.54	64.66774	101.29341	103.36062	105.47002	124.08238
22	10.500	10235.67	75.17285	117.74825	120.15128	122.60335	144.23923
23	11.000	12746.87	98.0735	153.61907	156.75416	159.95322	188.18026
24	11.500	14675.56	118.0451	184.90192	188.67543	192.52595	226.50111
25	12.000	16896.25	141.8166	222.13678	226.67018	231.2961	272.11306
26	12.500	18965.86	165.8204	259.73558	265.03631	270.44521	318.17084
27	13.000	20768.24	188.8419	295.79576	301.83241	307.99225	362.34383
28	13.500	21986.68	207.6103	325.19385	331.83046	338.60251	398.35589
29	14.000	22986.28	225.0879	352.57022	359.76553	367.10768	431.89139
30	14.500	24786.82	251.3878	393.76555	401.80158	410.00161	482.35483
31	15.000	26684.138	279.9625	438.52397	447.47344	456.60555	537.183

4.5 Perhitungan Estimasi Panas yang terjadi dalam Kapal

Dalam pengoperasiannya, kapal selam yang akan beroperasi diasumsikan berada dalam wilayah perairan Indonesia. Dan berdasarkan data general arrangement dalam gambar IV.I, maka estimasi besarnya heat density yang terjadi dapat diestimasikan dan disimulasikan berdasarkan aliran energi peralatan elektronik, mekanik maupun permesinan dalam kapal selam tersebut. Untuk perhitungan dalam ruangan tersebut, beberapa formula yang digunakan adalah:

$$q = -\frac{1}{2} p l i^2 + T_1 - \frac{k}{l} (T_0 - T_i)$$

$$p = p l i^2 + (T_0 - T_i) i$$

$$= \frac{q}{p}$$

$$= -k \frac{dT(x)}{dx}$$

Dimana :

A = seebeck coefficient (V/°C)

i = current density (A/cm²)

k = thermal conductivity dari thermoelectric material (W/cm °C)

k_p = thermal conductivity dari Encapsulant (W/cm °C)

l = panjang thermoelement (cm)

p = power input density (W/cm²)

q = refrigeration density (W/cm²)

R = contact resistance (Ωcm²)

T₀ = hot junction temperature (°K)

T₁ = cold junction temperature (°K)

T₀' = hot fluid temperature (°K)

T₁' = cold fluid temperature (°K)

Ø = koefisien performa

Øq = heat flux (kW / m³)

4.5.1 Perhitungan Estimasi Panas yang terjadi pada Ruang Baterai

Dikarenakan kapal selam yang direncanakan merupakan tipe kapal non AIP dimana propulsi yang digunakan adalah berupa baterai, data akan spesifik kalor untuk tiap – tiap cell baterai dapat dilihat pada tabel IV.6 berikut:

Tabel 4. 6 *Massa dan Spesific Heat Baterai*

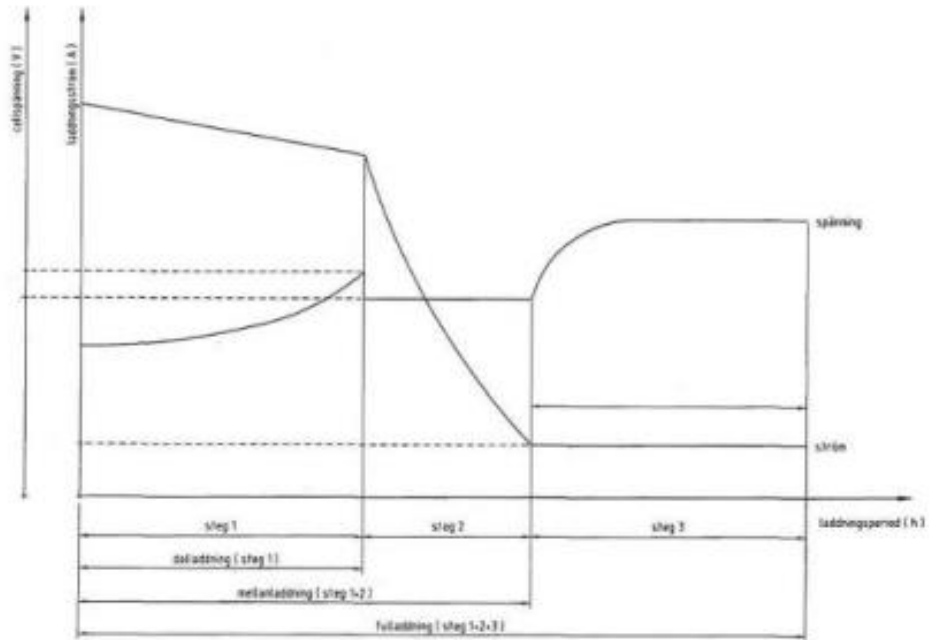
Substance	Mass(kg)	C_p (kJ/(kgK))
Lead(Pb)	272,5	0,13
Copper(Cu)	52,5	0,39
Sulphuric acid(H_2SO_4)	49	1,38
Water(H_2O)	74,5	4,18
Other materials	36,5	1,6
Total/Average	485	1,02

Baterai yang digunakan adalah tipe Lead-acid dimana baerai tersebut memiliki efisiensi kelistrikan yang tinggi, namun menghasilkan emisi panas yang cukup tinggi pula. Perhitungan untuk estimasi potensi panas yang terjadi dalam ruang baterai tersebut adalah:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 25^{\circ}C, \text{ suhu perairan luar Indonesia} \\
 T_2 &= 45^{\circ}C, \text{ suhu maksimal ruangan} \\
 C_{p,avg} &= \frac{(\sum m_i \times c_{pi})}{m_{total}} \\
 C_{p,avg} &= \frac{(272,5 \cdot 0,13 + 52,5 \cdot 0,39 + 49 \cdot 1,38 + 74,5 \cdot 4,18 + 36,5 \cdot 1,6)}{485} = 1,02 \frac{kJ}{kgK} \\
 Q_{cell} &= m \cdot c_{p,avg} \cdot \Delta T \\
 Q_{cell} &= 485 \cdot 1,02 \cdot (45 - 25) = 9,8 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Seperti semua sistem baterai pada kapal selam pada umumnya baterai tersebut harus di-charge saat kapasitasnya mulai berkurang. Untuk sistem charging, proses full charging terbagi menjadi 3 tahap / stage. Dalam kasus ini, penamaan tahap tersebut adalah stage 1-, stage 2-, stage 3- charge. Dimana kondisi kurva karakteristik charging tersebut ditampilkan dalam gambar IV.4.: Pada stage 1, charging power pada baterai akan konstan dimana arusnya akan mengalami penurunan secara linier dan voltasenya bertambah. Saat charging memasuki stage 2, voltase akan drop secara instant hingga mencapai level konstan, arus akan mengalami penurunan dengan cepat pula sehingga power akan mengalami penurunan. Hingga pada akhirnya di stage 3, charging mengalami arus konstan dan peningkatan voltase dan power. Saat proses charging battery dilakukan, akan muncul panas internal sebagai hasil dari resistance dan chemical process pada batterai. Munculnya panas internal ini merupakan fungsi / dipengaruhi

oleh arus sehingga panas yang muncul akan bergantung kepada pada stage berapakah charging ini dilakukan. Gambar juga menunjukkan bagaimana arus dan voltase berubah pada tiap – tiap stage yang berbeda.



Gambar 4. 4 Kurva Charging Baterai pada Stage 1, 2 & 3

(Sumber:mpoweruk.com)

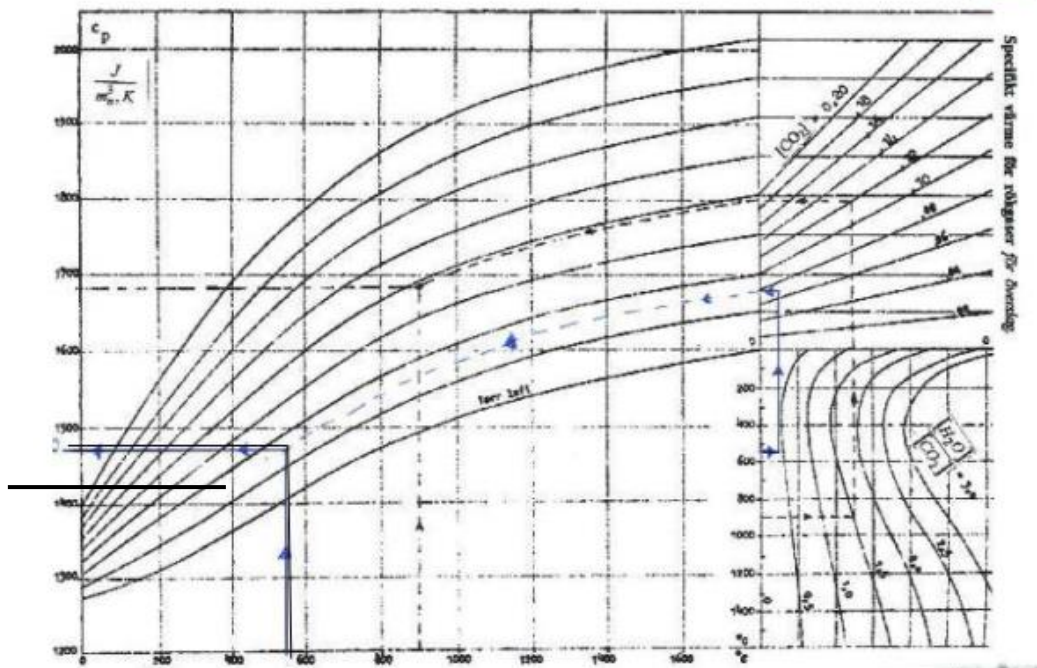
4.5.2 Perhitungan Estimasi Panas yang pada Diesel – Electric Propulsion

Dikarenakan sistem propulsi dalam kapal selam ini menggunakan kapal selam tipe konvensional yang menggunakan Diesel-Electric propulsion, diasumsikan bahwa kapal selam ini akan menggunakan dua mesin Diesel 1 MW untuk propulsi dan charge baterai dalam kapal. Jenis diesel engine tipe tersebut memiliki nilai $\lambda = 2$ dan berdasarkan dari buku panduan (Project Guide – MTU Diesel Engines) akan menghasilkan gas buang dengan mass flow = 2,4 kg/s dengan temperatur sebesar 5500C. Dikarenakan tingginya suhu gas buang tersebut dan adanya peraturan regulasi dimana suhu maksimal yang dapat diterima material dari katup-katup sistem pembuangan serta untuk menghindari panas kapal selam tersebut dapat terdeteksi, maka gas buang tersebut perlu didinginkan terlebih dahulu hingga mencapai suhu 2500C. Bahan bakar Diesel yang digunakan dalam mesin diesel tersebut adalah $C_{12}H_{23}$ dan dikarenakan nilai $\lambda = 2$, campuran mixture udara tersebut merupakan lean mixture dan komposisi bahan kimia dapat dihitung menggunakan rumus perhitungan:

$$\begin{aligned}
 &= C_a H_b + \lambda \left(a + \frac{b}{4} \right) (O_2 + 3,773 N_2) \\
 &= a CO_2 + \frac{b}{2} H_2O + (\lambda - 1) \left(a + \frac{b}{4} \right) O_2 + 3,772 \left(a + \frac{b}{4} \right) N_2 \\
 &= \frac{X_{H_2O}}{X_{CO_2}} = \frac{n_{H_2O}}{n} \frac{n}{n_{CO_2}}
 \end{aligned}$$

$$P = \dot{m}.cp. (T_1 - T_2)$$

Untuk dapat menghasilkan specific heat berikut:

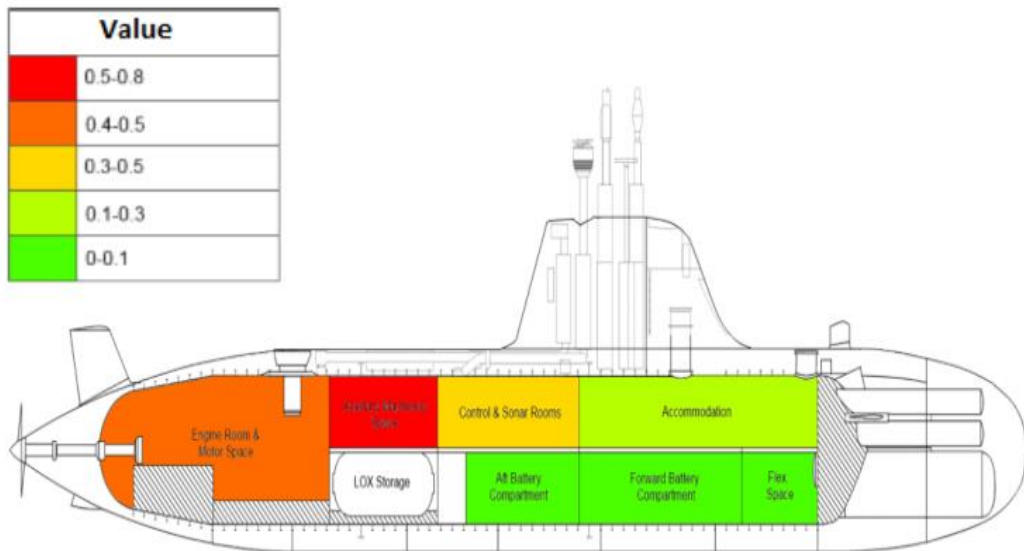


Grafik IV.1 Specific Heat
(Sumber: mpoweruk.com)

Dimana data tersebut akan digunakan untuk mendapatkan nilai efek panas di gas buang (Q_{exhaust}) dimana ditampilkan dalam grafik dan berkisar sebesar 1037 kW. Dikarenakan terdapat dua generator yang berjalan secara paralel apabila proses charging dilakukan maka nilai Q_{exhaust} total = 2074 kW.

4.5.3 Perhitungan Estimasi Panas Kapal Selam

Berdasarkan dari perhitungan Q_{cell} dan Q_{chaust} , maka hasil heat flux density pada kapal selam ini dapat dilakukan. Hasil Simulasi tersebut dapat dilihat dalam gambar IV.5 berikut yang menampilkan Estimasi Besar Heat Flux Density dalam kapal selam dimana hasil perhitungan tersebut:



Gambar 4. 5 Estimasi Besar Heat Flux Density dalam kapal selam (kW / m³)

(Sumber: mpoweruk.com)

Dimana Seperti ditunjukkan pada Gambar tersebut, besar panas yang terjadi berada pada area kompartemen Auxiliary Machinery *space* dan Engine room & motor *space* dengan estimasi mencapai 0.4 – 0.8 kW / m³. Hal ini dipengaruhi akibat banyaknya peralatan elektronik maupun permesinan yang menghasilkan panas cukup tinggi dalam ruangan tersebut. Sementara kompartemen dalam ruangan Control & Sonar *room* dan Battery Compartment menghasilkan panas yang cukup sedang di kisaran Heat flux density mencapai 0.3 0.5 kW / m³. Kontribusi panas yang terjadi dalam kapal selam tersebut juga ditunjukkan dalam bagan berikut yang terdiri dari panas akibat personil, sistem penerangan / lampu, peralatan permesinan /elektrikal. Total Heat Load berkisar antara 100 – 115 kW dimana untuk memenuhi kebutuhan tersebut dapat dipasang sistem HVAC dengan peralatan – peralatannya.

4.6 Estimasi Daya Total berdasarkan Kondisi Kapal Selam

4.6.1 Estimasi Daya disaat kondisi *Snort*

Setelah dilakukan perhitungan sistem penerangan, sistem propulsi dan sistem hvac pada kapal selam mini disaat keadaan snort (4knot) didapatkan hasil sebagai berikut yang tertera pada tabel IV.7.

Tabel 4. 7 Estimasi Power Kondisi Snort

Power Snort (4 Knot)		
Pendorongan	3.702	Kw
Penerangan	5.406	Kw
HVAC	100	Kw
TOTAL	109.108	Kw

Dapat kita lihat pada tabel IV.7 total power yang dibutuhkan pada kapal selam saat kondisi snort yaitu sebesar 109.108 setiap jam nya, setelah itu akan dilakukan manajemen baterai yang baik dengan cara akan mengkalkulasikan power yang dibutuhkan pada kondisi - kapal selam yang lainnya berdasarkan power yang dibutuhkan disetiap kondisi / keadaannya.

4.6.2 Estimasi Daya disaat kondisi Jelajah

Setelah dilakukan perhitungan sistem penerangan, sistem propulsi dan sistem hvac pada kapal selam mini disaat keadaan jelajah (5knot) didapatkan hasil sebagai berikut yang tertera pada tabel IV.8

Tabel 4. 8 Estimasi Power Kondisi Jelajah

Power Jelajah (5 Knot)		
Pendorongan	7.09	Kw
Penerangan	5.406	Kw
HVAC	100	Kw
TOTAL	112.496	Kw

Dapat kita lihat pada tabel IV.8 total power yang dibutuhkan pada kapal selam saat kondisi snort yaitu sebesar 112.496 setiap jam nya.

4.6.3 Estimasi Daya disaat kondisi *Silent Run*

Setelah dilakukan perhitungan sistem penerangan, sistem propulsi dan sistem hvac pada kapal selam mini disaat keadaan *silent run* (2 knot) didapatkan hasil sebagai berikut yang tertera pada tabel IV.9

Tabel 4. 9 Estimasi Power Kondisi *Silent Run*

Power Silent run (2 Knot)	
Pendorongan	1.62Kw
Penerangan	5.406Kw
HVAC	100Kw
TOTAL	107.026Kw

Dapat kita lihat pada tabel IV.9 total power yang dibutuhkan pada kapal selam saat kondisi snort yaitu sebesar 107.026 setiap jam nya.

4.6.1 Estimasi Daya disaat kondisi *Escape*

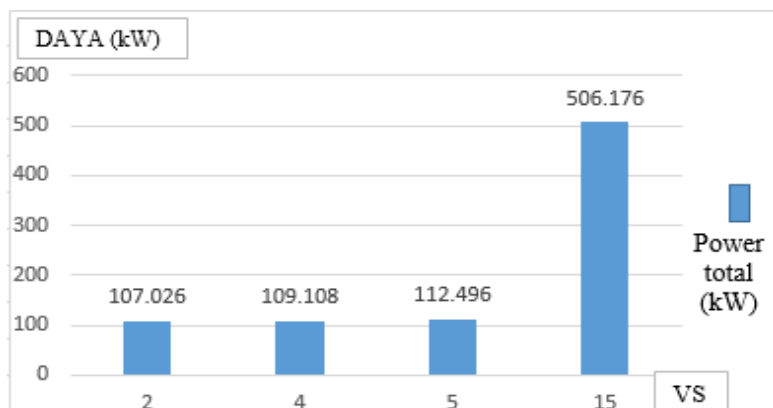
Setelah dilakukan perhitungan sistem penerangan, sistem propulsi dan sistem hvac pada kapal selam mini disaat keadaan *escape* (15 knot) didapatkan hasil sebagai berikut yang tertera pada tabel IV.10

Tabel 4. 10 Estimasi Power Kondisi *Escape*

Power Maksimum (15 Knot)	
Pendorongan	400.77Kw
Penerangan	5.406Kw
HVAC	100Kw
TOTAL	506.176Kw

Dapat kita lihat pada tabel IV.10 total power yang dibutuhkan pada kapal selam saat kondisi snort yaitu sebesar 506.176 setiap jam nya.

Berdasarkan empat kondisi power pada kapal selam mini tersebut, terlihat perbedaan setiap kebutuhan power pada kondisi-kondisi yang ada, bisa kita lihat perbedaannya pada grafik 4.1 berikut.



Grafik 4.1 Variasi Daya berdasarkan Beban Kecepatan, Beban Lighting dan Beban HVAC Setiap Jam nya.

4.7 Sistem Manajemen Baterai (BMS)

Sistem manajemen baterai (BMS) kapal selam ini berdasarkan kondisi beroperasi kapal yang telah disebutkan pada bahasan sebelumnya yaitu kondisi: *snort*, jelajah, silent run dan *escape*. Berdasarkan kondisi tersebut, akan dilakukan pembuatan beberapa skenario saat kapal selam beroperasi sebagai berikut.

1. Skenario pertama: Kapal selam beroperasi pada keadaan jelajah (5Knot) selama 52.8 jam dengan jarak tempuh 488.88 Km. Jadi pada skenario pertama ini kapal selam hanya beroperasi pada keadaan jelajah dengan membutuhkan daya baterai sebanyak 75% dari keseluruhan. Jadi pada skenario pertama ini baterai pada kapal selam ini masih termasuk aman dikarenakan setelah beroperasi pada kondisi jelajah selama waktu 52.8 jam, baterai masih memiliki kapasitas baterai sebanyak 25%.
2. Skenario kedua: Kapal selam beroperasi pada kondisi jelajah (5 Knot) selama 20 jam dengan jarak tempuh 185.14 Km dengan menghabiskan daya baterai sebanyak 28.4%, setelah itu kapal selam beroperasi pada kondisi *silent run* (2 Knot) selama 30 menit dengan jarak tempuh 1.836 Km dengan menghabiskan daya baterai sebanyak 0.675%. Lalu kapal selam beroperasi dengan kondisi *escape* (15Knot) selama 2 jam dengan jarak tempuh 55.44 Km dengan menghabiskan daya baterai sebanyak 12.78% dan kembali pada kondisi jelajah (5 Knot) selama 26 jam dengan jarak tempuh 240.739 Km, setelah itu kembali untuk kondisi *snort* dengan sisa dari daya baterai sebesar 21.21%. jadi pada skenario ini masih termasuk aman untuk baterai nya, dikarenakan pada saat kapal selam mau beroperasi dengan kondisi *escape*, daya baterai masih tersedia 70.925% masih cukup aman untuk melakukan *escape* dan saat kapal selam ingin melakukan *snort* masih memiliki daya baterai sebesar 21.21%.
3. Skenario ketiga: Kapal selam beroperasi pada kondisi jelajah (5Knot) selama 15 jam dengan jarak tempuh 138.88 Km dengan menghabiskan daya baterai sebanyak 21.3%, setelah itu kapal selam beroperasi dengan kondisi *silent run* (2 Knot) selama 1 jam dengan jarak tempuh 3.672 Km dengan menghabiskan daya baterai sebesar 1.35%, lalu kembali pada kondisi jelajah (15 Knot) selama 25 jam dengan jarak tempuh 231.48 Km dengan membutuhkan daya baterai sebesar 35.5%, setelah itu kapal selam beroperasi kembali pada keadaan *silent run* (2 Knot) selama 1 jam dengan jarak tempuh 3.672 Km dan menghabiskan daya baterai sebanyak 1.35%, setelah itu kapal beroperasi pada keadaan *escape* (15 Knot) selama 3 jam dengan jarak tempuh 83.16 Km dengan membutuhkan daya sebesar 19.17%, lalu kapal kembali pada keadaan silent run (2 Knot) selama 1 jam dengan jarak tempuh 3.672 Km dengan menghabiskan daya baterai sebanyak 1.35% lalu kapal kembali pada kondisi *snort*. Kesimpulan dari skenario ketiga ini ialah kondisi baterai termasuk dalam keadaan warning, dikarenakan sisa dari kapasitas ketika ingin

menuju ke kondisi *escape*, sisa kapasitas dari baterai memiliki sebesar 40.5%, ini termasuk kondisi yang warning dikarenakan mengingat sisa dari baterai keseluruhan sebelum baterai melakukan *charging*, paling tidak sisa baterai minimal 20% untuk menjaga dari kondisi baterai tersebut.

4. Skenario keempat: Kapal selam beroperasi dalam keadaan jelajah (5 Knot) selama 10 jam dengan jarak tempuh 92.59 Km dengan menghabiskan daya baterai sebesar 14.2%, lalu kapal beroperasi dengan kondisi *silent run* (2 Knot) selama 1 jam dengan jarak tempuh 3.672 km. Setelah itu kapal beroperasi dengan kondisi *escape* (15 Knot) selama 1 jam dengan jarak tempuh 27.72 Km dengan daya baterai yang dibutuhkan 6.39%. Setelah itu kapal beroperasi dengan kondisi jelajah (5 Knot) selama 15 jam dengan jarak tempuh 138.88 Km dengan menghabiskan daya 21.3%. Selanjutnya kapal selam kembali beroperasi pada kondisi *silent run* (2 Knot) selama 1 jam dengan jarak tempuh 3.672 Km dengan menghabiskan daya baterai 1.3%, lalu kapal selam kembali pada kondisi jelajah (5 Knot) selama 15 jam dengan jarak tempuh 138.88 Km dengan menghabiskan daya sebesar 21.3%. selanjutnya kapal selam beroperasi pada kondisi *escape* (15 Knot) selama 2 jam dengan jarak tempuh 55.44 Km dengan menghabiskan baterai 12.78% selanjutnya kapal selam beroperasi pada kondisi *silent run* (2 Knot) selama 2 jam dengan jarak tempuh 6.344 Km dengan menghabiskan daya 2.7% dan kembali dengan kondisi snort. Kesimpulan dari skenario keempat ini, terlihat daya baterai sisa 34.21% disaat kapal mau berubah dari kondisi jelajah ke kondisi *escape* pada keadaan akhir –akhir, seperti yang diketahui bahwasanya alangkah lebih baik dan terjaganya baterai itu dengan kondisi sisa dari daya baterai total sebesar 20%, sedangkan pada kondisi skenario keempat ini, kondisi baterai tersisa 18.73 disaat ingin kembali pada keadaan snort. Kondisi keempat ini menunjukkan manajemen baterai yang kurang baik dikarenakan tersisa daya baterai sekitar 34.21% tetapi masih dilanjutkan untuk kondisi *escape*, alangkah baiknya jika setelah daya baterai 34.21% kapal langsung kembali dengan keadaan snort.

Terlihat lebih jelas pada tabel berikut tentang kesimpulan dari empat skenario yang sudah dipaparkan sebelumnya.

Kecepatan	Waktu	Jarak	Pemakaian
5 Knot	52.8 jam	488.88 Km	75%
		Sisa	25%

Kecepatan	Waktu	Jarak	Pemakaian
5 Knot	20 Jam	185.14 Km	28.40%
2 Knot	30 Menit	1.36 Km	0.68%
15 Knot	2 Jam	55.44 Km	12.78%
5 Knot	26 Jam	240.739 Km	36.93%
		Sisa	21.20%

5 Knot	52.8 jam	488.88 Km	75%
	Sisa		25%



SKENARIO 2



Sisa Baterai 70.93 %

Kecepatan	Waktu	Jarak	Pemakaian
5 Knot	15 Jam	138.88 Km	21.30%
2 Knot	1 Jam	3.672 Km	1.35%
5 Knot	25 Jam	231.48 Km	35.50%
2 Knot	1 Jam	3.672 Km	1.35%
15 Knot	3 jam	83.16 Km	19.17%
2 Knot	1 jam	3.672 Km	1.35%
		Sisa	20%



SKENARIO 3



Sisa Baterai 40.50 %

Kecepatan	Waktu	Jarak	Pemakaian
5 Knot	10 Jam	92.59 Km	14.20%
2 Knot	1 Jam	3.672 Km	1.35%



SKENARIO 4



Sisa Baterai 78.11 %



Sisa Baterai 34.21 %

15 Knot	1 Jam	27.72 Km	6.39%
5 Knot	15 Jam	138.88 Km	21.30%
2 Knot	1 Jam	3.672 Km	1.35%
5 Knot	15 Jam	138.88 Km	21.30%
15 Knot	2 Jam	55.44 Km	12.78%
2 Knot	2 Jam	6.34 Km	2.70%
	Sisa		18.73%

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Melalui penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil oleh penulis yaitu sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan, power yang dibutuhkan untuk sistem penerangan pada kapal selam mini sebesar 5.406 kW dan untuk perhitungan sistem HVAC sebesar 100 kW
2. Berdasarkan beberapa kondisi beroperasinya kapal selam, didapatkan estimasi power yang dibutuhkan pada kapal selam sebagai berikut: kondisi *snort* (109.108 kW), kondisi *jelajah* (112.496 kW), kondisi *silent run* (107.026 kW) (dan kondisi *escape* (506.176 kW).

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pembuatan software untuk *battery management system* (BMS) sesuai dengan inputan data dari estimasi daya setiap kondisi dan scenario pada kapal selam mini.
2. Perlu dilakukan perhitungan semua sistem yang ada pada kapal selam mini, sehingga bisa mengetahui bagaimana keseluruhan sistem kelistrikan pada kapal selam mini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] The Society Of Naval Architects and Marine Engineeris 601 Pavonia Avenue, Jersey City, N.J. 07306.
- [2] Prisdianto, A. (2012). Perancangan ROV dengan Hydrodynamic Performance yang Baik untuk Misi Monitoring Bawah Laut. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Rawson, K., & Tupper, E. C. (2001). Basic Ship Theory - Volume 2 (5 ed.). oxford: ButterworthHeinemann.
- [3] Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2001). Basic Ship Theory (5th ed., Vol. 1). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [4] Zeiss, C. (2006, Februari 14). Periscope System SERO 400. Diambil kembali dari Carl Zeiss Optronics GmbH: www.zeiss.com/optronics
- [5] Hagen Batterie Submarine. Training Submarine 209 Propulsion Battery Bad Lauterberg Indonesia February 2017.
- [6] Hu, Rui 2011. Battery Management System For Electric Vehicle Applications. Electronic Theses and Dissertations. Electrical and Computer Engineering Commons. University of Windsor.
- [7] Yoshifumi Ajioka and Kiyoshi Ohno, “Electric propulsion systems for ships”, Hitachi Review Vol. 62 (2013), No. 3, pp:231-232.
- [8] Indra Ranu Kusuma, Sardono Sarwito, Ristita Angarini Widya Ayu Irawati; 2017; Analysis of Electric Propulsion Performance on Submersible with Motor DC, Supply Power 10260AH at Voltage 115VDC; Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Gambar Rencana Umum Kapal Selam Mini
2. Gambar Sistem Penerangan Kapal Selam Mini
3. Spesifikasi Teknis Baterai
4. Tabel Lampu Penerangan Pada Kapal

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Irwan Nanda Putra lahir di LHOKSEUMAWE, 20 Januari 1996. Merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Sumardi dan Ibu Yusmawati. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis adalah di SD IKAL Medan dari tahun 2002 s/d 2008, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Islam Modern Amanah Medan dari tahun 2008 s/d 2011, dan kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 4 Medan dari tahun 2011 s/d 2014. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan studi dalam jalur pendidikan Strata 1 (S1) di Departemen Teknik

Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Selama kegiatan perkuliahan penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan kemahasiswaan seperti menjadi staff departemen Badan Usaha Milik Fakultas (BUMF) di Badan Eksekutif Mahasiswa – Fakultas Teknologi Kelautan dari tahun 2015 s/d 2016, penulis juga aktif mengikuti kegiatan pelatihan LKMM Tingkat Pra Dasar dan Tingkat Dasar dari tahun 2014 s/d 2015. Dalam menyelesaikan pendidikan S1 ini, penulis mengambil skripsi di bidang *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)